

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2005年8月18日 (18.08.2005)

PCT

(10) 国際公開番号  
WO 2005/076452 A1

(51) 国際特許分類<sup>7</sup>:

H02N 11/00

(74) 代理人: 河宮 治, 外 (KAWAMIYA, Osamu et al.); 〒5400001 大阪府大阪市中央区城見 1 丁目 3 番 7 号 IMP ビル 青山特許事務所 Osaka (JP).

(21) 国際出願番号:

PCT/JP2005/001591

(22) 国際出願日:

2005年2月3日 (03.02.2005)

(25) 国際出願の言語:

日本語

(26) 国際公開の言語:

日本語

(30) 優先権データ:

特願2004-028838 2004年2月5日 (05.02.2004) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 松下電器産業株式会社 (MATSUSHITA ELECTRIC INDUSTRIAL CO., LTD.) [JP/JP]; 〒5718501 大阪府門真市大字門真 1006 番地 Osaka (JP).

(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 横山 和夫 (YOKOYAMA, Kazuo). 浅井 勝彦 (ASAII, Katsuhiko). 松川 望 (MATSUKAWA, Nozomu). 山本 正樹 (YAMAMOTO, Masaki).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

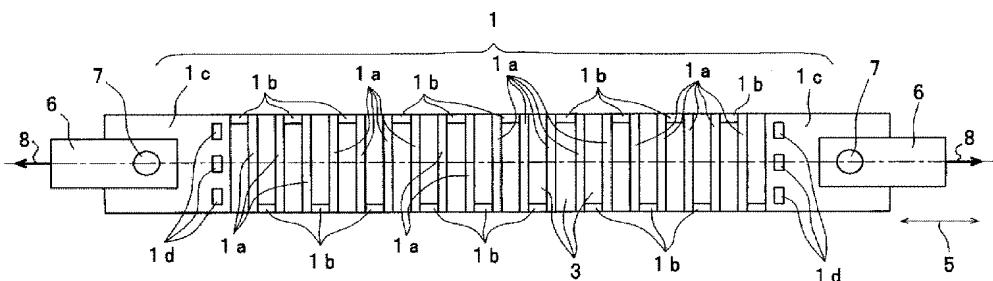
(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:  
— 國際調査報告書

/統葉有/

(54) Title: ACTUATOR AND METHOD FOR MANUFACTURING PLANAR ELECTRODE SUPPORT FOR ACTUATOR

(54) 発明の名称: アクチュエータ及びアクチュエータ用平板状電極支持体の製造方法



(57) Abstract: An actuator as a drive source of a robot assisting housekeeping, work or nurse in which the drive source itself is small, lightweight, flexible and safe, and a method for manufacturing its planar electrode support. The actuator comprises an electrolytic layer (4) interposed between an electrode (1) provided with a conductive polymer layer (3) and a counter electrode (2) and in contact with the conductive polymer layer and causes the conductive polymer layer to expand/contract by applying an electric field between both electrodes. The electrode provided with the conductive polymer layer is a planar electrode so patterned as to exhibit a low rigidity in the longitudinal direction, i.e., the expanding/contracting direction of the conductive polymer layer.

(57) 要約: 家事支援や仕事支援や介護支援などに使用可能なロボット等の駆動源として、駆動源自体が小型軽量かつ柔軟で、安全であるアクチュエータ及びその平板状電極支持体の製造方法を提供する。導電性ポリマー層 (3) を設けた電極 (1) と対向電極 (2) の間に導電性ポリマー層に接した電解質層 (4) を有し、両電極間に電界を印加することにより導電性ポリマー層を膨脹収縮変形させるアクチュエータであって、導電性ポリマー層を設けた電極が、導電性ポリマー層の伸縮方向である長手方向に低剛性となるようにパターニングした平板状電極である。

WO 2005/076452 A1



2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

## 明 細 書

アクチュエータ及びアクチュエータ用平板状電極支持体の製造方法  
技術分野

[0001] 本発明は、家庭用ロボット等に適用することができる、電気刺激により変形する、柔軟で軽量な平板薄型のアクチュエータ及び平板薄型のアクチュエータ用平板状電極支持体の製造方法に関するものである。

## 背景技術

[0002] 従来の産業用ロボットの関節駆動機構の駆動源としては、電磁モータ、油圧アクチュエータ、空圧アクチュエータなどが用いられている。これらの駆動源を用いた関節駆動機構は、金属主体で構成された電磁モータと減速機構を用いたもの、金属製の油空圧シリンダーを用いたものなど、それ自体硬く重い材質でできており、工場内の特定の場所で管理されて用いられる。

[0003] これに対して家庭やオフィス、病院などで家事支援や仕事支援、高齢者や障害者の介護支援などで人の間近で活躍することが期待されるロボットなどの機器の駆動源は、駆動源自体が小型軽量かつ柔軟で、安全であることが求められる。

[0004] このようなアクチュエータとして、上記空圧式アクチュエータの中でも柔軟性に富んだラバー製の空圧式アクチュエータがあるが、駆動のためにはコンプレッサや制御弁などの補機類が必要でシステム全体の軽量化に限りがある。

[0005] これに対して軽量で柔軟性に富んだ各種のポリマー材料を用いた人工筋肉アクチュエータが提案され、その実用化が切望されている。

[0006] 電気的刺激により動作するポリマーアクチュエータについては、非特許文献1 (SG. Wax, R. R. Sands, Smart Structures And Materials 1999:Electroactive Polymer Actuators and Devices, Proc. SPIE, Vol.3669, pp. 2-10, 1999. )にキーノート講演として解説されている。毎年この分野の研究のコンファレンスが行われており、活発に研究が行われている。高分子ゲル、メタルコンポジットイオンポリマー、有機導電性ポリマー、炭素分散導電性ポリマー、誘電性エラストマーなどにおいて、電気的刺激により駆動するポリマーアクチュエータの研究がなされている。このうち有機導電性ポ

リマー、炭素分散導電性ポリマー等の導電性ポリマーは、比較的低電圧で駆動でき、その発生応力が生体の筋肉を上回る能力を持ち、軽量で柔軟である性質を持つアクチュエータとして期待されている。

[0007] 導電性ポリマーの例として、特許文献1(特開平11-169394号公報)に、有機導電性ポリマーであるポリアニリン膜体に金属電極を形成し、固体電解質成形体で挟んだアクチュエータが開示されている。有機導電性ポリマー自体は導電性を有するので、これらを電極として電圧を印加することもできるが、導電性ポリマーの抵抗による電圧降下をさけるために金属電極を形成している。これらの電極間に電圧を印加することにより、固体電解質成形体中の陰イオンが陰極から陽極に移動して、陽極のポリアニリンに陰イオンがドープされ膨潤する。一方、陰極側のポリアニリンは逆の作用を受け、すなわち陰イオンが脱ドープされ、収縮する。この結果、導電性ポリマーとポリアニリン膜体とによりなるこの構成のアクチュエータは、湾曲することになる。この動きは、薄い膜体がたわむ現象であり、大きな変位を得られるものの、たわみ剛性が低いため大きな力を引き出すことができない欠点がある。

[0008] たわみ変形でなく、導電性ポリマーを長手方向に伸縮変形させるアクチュエータであって、金属製のコイルバネを電極としてこれに有機導電性ポリマーを設けた例が非特許文献2(Gordon G. Wallace etc. , Smart Structures And Materials 2002: Electroactive Polymer Actuators and Devices, Proc. SPIE, Vol.4695, pp. 8-16, 2002. )に開示されている。有機導電性ポリマーは円筒状であり、束ねた場合に発生力を生じる有効断面積が小さい課題がある。またこの例では電界液を封止するためにこのコイルバネ付き円筒状導電性ポリマーを円筒状容器に収納する構造をとっており、さらに有効断面積が小さくなる。また、力の作用部もこれに可動ピンとバネを結合する構造であり製造法も複雑である課題がある。

[0009] また、特許文献2(特開平7-83159号公報)及び特許文献3(特開平6-133922号公報)には、共に、電気刺激により屈曲動作するために、くし歯状電極が円筒体に形成されたアクチュエータが開示されているが、いずれも、アクチュエータの厚みが大きい円筒形状又は巻き回した形状であるため、応答性が悪く、低速でしか動作できず、製造も容易ではなかった。

[0010] 尚、ここで導電性ポリマーとは、ポリマー自体に導電性を有する有機導電性ポリマーと、炭素微粒子等の導電性材料を添加した導電性高分子を含む広義の導電性ポリマーを指している。

## 発明の開示

### 発明が解決しようとする課題

[0011] 従って、本発明の目的は、上記問題を解決することにあって、このようなアクチュエータとして、大きな力を発生することができるとともに、高速に動作し、製造が容易であって信頼性に優れた、導電性ポリマーを用いた平板薄型のアクチュエータ及び平板薄型のアクチュエータ用平板状電極支持体の製造方法を提供する。

### 課題を解決するための手段

[0012] 上記目的を達成するために、本発明は以下のように構成する。

[0013] 本発明によれば、平板状の導電性ポリマー層と、  
上記導電性ポリマー層に接する電極と、  
上記電極に対向する対向電極と、  
上記電極と上記対向電極の間に上記導電性ポリマー層に接した電解質層とを有して、

上記電極が、上記導電性ポリマー層の伸縮方向である長手方向に低剛性にかつ上記長手方向と略直交する幅方向に高剛性となるように上記長手方向に対して少なくとも1つの屈曲部を有してパターニングした平板状電極であり、両電極間に電界を印加することにより上記導電性ポリマー層を膨脹収縮変形させる平板薄型のアクチュエータを提供する。

[0014] また、本発明によれば、平板状の導電性ポリマー層と、  
上記導電性ポリマー層に接する電極と、  
上記電極に対向する対向電極と、  
上記電極と上記対向電極の間に上記導電性ポリマー層に接した電解質層とを有して、

上記電極が、上記導電性ポリマー層の伸縮に伴う駆動力の出力方向に低剛性にかつ上記出力方向と略直交する方向に高剛性となるように上記出力方向に対して少

なくとも1つの屈曲部を有してパターニングした平板状電極であり、両電極間に電界を印加することにより上記導電性ポリマー層を膨脹収縮変形させて上記駆動力を上記出力方向に出力させる平板薄型のアクチュエータを提供する。

[0015] また、本発明によれば、平板状の導電性ポリマー層を設けた電極と対向電極の間に上記導電性ポリマー層に接した電解質層を有し、両電極間に電界を印加することにより上記導電性ポリマー層を膨脹収縮変形させる平板薄型のアクチュエータにおける上記導電性ポリマー層と上記電極より構成される平板薄型のアクチュエータの平板状電極支持体の製造方法において、

上記電極として、平板状電極を、上記導電性ポリマー層の伸縮方向である長手方向に低剛性にかつ上記長手方向と略直交する幅方向に高剛性となるように上記長手方向に対して少なくとも1つの屈曲部を有するようにエッティング加工又は打ち抜き加工によりパターニングし、

上記パターニングされた平板状電極を、他の平板に当接させた状態で、上記電極に上記導電性ポリマー層を電解重合又はキャスト法で形成した後、上記平板を除去して上記平板状電極支持体を製造することを特徴とする平板薄型のアクチュエータ用平板状電極支持体の製造方法を提供する。

## 発明の効果

[0016] 本発明によれば、平板状の導電性ポリマー層を設けた電極と、対向電極の間に上記導電性ポリマー層に接した電解質層を有し、両電極間に電界を印加することにより上記導電性ポリマー層を膨脹収縮変形させる平板薄型のアクチュエータにおいて、上記導電性ポリマー層を設けた電極が、導電性ポリマー層の伸縮方向である長手方向(言い換えれば、アクチュエータの駆動力の出力方向)に低剛性に、長手方向と略直交する幅方向に高剛性となるようにパターニング(パターン形成)し、さらに支持体としての機能をも兼ね備えた、平板状電極であることととができる。このことにより、家庭やオフィス、病院などで家事支援や仕事支援、高齢者や障害者の介護支援などで人の間近で活躍することが期待されるロボットなどの機器の駆動源として、駆動源自体が小型軽量かつ柔軟で、安全であるアクチュエータを実現できる。このようなアクチュエータとして、大きな力を発生することができるとともに、高速に動作し、製

造が容易であって信頼性に優れた、平板薄型のアクチュエータ及び平板薄型のアクチュエータ用平板状電極支持体の製造方法を提供することができる。

### 図面の簡単な説明

[0017] 本発明のこれらと他の目的と特徴は、添付された図面についての好ましい実施形態に関連した次の記述から明らかになる。この図面においては、

[図1A]図1Aは、本発明の第1実施形態の1つの形態におけるアクチュエータの平面図であり、

[図1B]図1Bは、本発明の第1実施形態の上記1つの形態におけるアクチュエータの断面図であり、

[図1C]図1Cは、本発明の第1実施形態の別の形態におけるアクチュエータの平面図であり、

[図1D]図1Dは、本発明の第1実施形態の上記別の形態におけるアクチュエータの断面図であり、

[図2A]図2Aは、本発明アクチュエータの動作原理を説明する断面図であり、

[図2B]図2Bは、本発明アクチュエータの動作原理を説明する断面図であり、

[図2C]図2Cは、本発明アクチュエータの動作原理を説明する断面図であり、

[図2D]図2Dは、本発明アクチュエータの動作原理を説明する断面図であり、

[図3A]図3Aは、本発明の第1実施形態におけるアクチュエータの伸縮する様子を示す平面図であり、

[図3B]図3Bは、本発明の第1実施形態の模式的な形態におけるアクチュエータの伸縮する様子を示す平面図であり、

[図3C]図3Cは、本発明の第1実施形態の別の形態におけるアクチュエータの伸縮する様子を示す平面図であり、

[図3D]図3Dは、本発明の第1実施形態の図3Cの形態におけるアクチュエータの伸縮する様子を示す平面図であり、

[図3E]図3Eは、本発明の第1実施形態の別の形態におけるアクチュエータの伸縮する様子を示す平面図であり、

[図3F]図3Fは、本発明の第1実施形態の別の形態におけるアクチュエータの伸縮す

る様子を示す平面図であり、

[図3G]図3Gは、本発明の第1実施形態の別の形態におけるアクチュエータの伸縮する様子を示す平面図であり、

[図3H]図3Hは、本発明の第1実施形態の別の形態におけるアクチュエータの伸縮する様子を示す平面図であり、

[図4]図4は、本発明の第1実施形態のパターニングのパターン形状の電極の剛性を他の形状の場合と比較した表を示す図であり、

[図5A]図5Aは、本発明の第1実施形態のアクチュエータの変形状態を解析計算した結果を説明するための参考例を表す平面図であり、

[図5B]図5Bは、本発明の第1実施形態のアクチュエータの変形状態を解析計算した結果を表す平面図であり、

[図5C]図5Cは、本発明の第1実施形態のアクチュエータの変形状態を解析計算した結果を説明するための図4の(c)の形状の電極にかかるアクチュエータの変形状態を解析計算した結果を表す平面図であり、

[図5D]図5Dは、本発明の第1実施形態のアクチュエータの変形状態を解析計算した結果を説明するための図4の(d)の形状の電極にかかるアクチュエータの変形状態を解析計算した結果を表す平面図であり、

[図5E]図5Eは、図5Bの本発明の第1実施形態にかかるアクチュエータにおいて、アクチュエータの長さを8mmとしつつアクチュエータの電極の膜厚を変えた場合( $5\mu m$ 、 $10\mu m$ 、 $20\mu m$ )の導電性ポリマー層の厚みに対するアクチュエータの変位量の関係を示すグラフであり、

[図5F]図5Fは、図5Bの本発明の第1実施形態にかかるアクチュエータにおいて、アクチュエータの長さを8mmとしつつアクチュエータの電極の膜厚を変えた場合( $5\mu m$ 、 $10\mu m$ 、 $20\mu m$ )の導電性ポリマー層の厚みに対するアクチュエータの変位量の増大率(変位増大率)を示すグラフであり、

[図5G]図5Gは、図5Fの結果を、縦軸に変位増大率、横軸に(導電性ポリマー層の厚み／電極の膜厚)の比をとったグラフであり、

[図6]図6は、本発明の第1実施形態の試作した平面上電極の平面図であり、

[図7A]図7Aは、本発明の第2実施形態におけるアクチュエータの平面図であり、  
[図7B]図7Bは、本発明の第2実施形態におけるアクチュエータの断面図であり、  
[図8A]図8Aは、本発明の第2実施形態における別の形態のアクチュエータの平面  
図であり、

[図8B]図8Bは、本発明の第2実施形態における上記別の形態のアクチュエータの断  
面図であり、

[図9A]図9Aは、本発明の第2実施形態におけるさらに別の形態のアクチュエータの  
平面図であり、

[図9B]図9Bは、本発明の第2実施形態におけるさらに別の形態のアクチュエータの  
断面図であり、

[図10A]図10Aは、本発明の第3実施形態におけるアクチュエータの平面図であり、

[図10B]図10Bは、本発明の第3実施形態におけるアクチュエータの断面図であり、

[図11A]図11Aは、本発明の第3実施形態における別の形態のアクチュエータの平  
面図であり、

[図11B]図11Bは、本発明の第3実施形態における上記別の形態のアクチュエータ  
の断面図であり、

[図12A]図12Aは、本発明の第4実施形態における導電性ポリマー付きの平板状電  
極支持体の製造方法において、平板状電極を別の平板に密着当接させて支持され  
ている状態を示す平面図であり、

[図12B]図12Bは、本発明の第4実施形態における導電性ポリマー付きの平板状電  
極支持体の製造方法において、平板状電極を別の平板に密着当接させて支持され  
ている状態を示す断面図であり、

[図12C]図12Cは、本発明の第4実施形態における導電性ポリマー付きの平板状電  
極支持体の製造方法において、平板状電極の大部分と平板とを覆うように導電性ポ  
リマー層を形成した状態を示す平面図であり、

[図12D]図12Dは、本発明の第4実施形態における導電性ポリマー付きの平板状電  
極支持体の製造方法において、平板状電極の大部分と平板とを覆うように導電性ポ  
リマー層を形成した状態を示す断面図であり、

[図12E]図12Eは、本発明の第4実施形態における導電性ポリマー付きの平板状電極支持体の製造方法において、平板が電極と導電性ポリマー層から除去された状態を示す平面図であり、

[図12F]図12Fは、本発明の第4実施形態における導電性ポリマー付きの平板状電極支持体の製造方法において、平板が電極と導電性ポリマー層から除去された状態を示す断面図であり、

[図12G]図12Gは、本発明の第4実施形態における導電性ポリマー付きの平板状電極支持体の製造方法において、導電性ポリマー層の裏面にも導電性ポリマー層を形成した状態を示す断面図であり、

[図12H]図12Hは、本発明の第4実施形態における導電性ポリマー付きの平板状電極支持体の製造方法において、平板状電極から両側の切り離し部をそれぞれ切り離した状態を示す平面図であり、

[図12I]図12Iは、本発明の第4実施形態における導電性ポリマー付きの平板状電極支持体の製造方法において、平板状電極から両側の切り離し部をそれぞれ切り離した状態を示す断面図であり、

[図13A]図13Aは、本発明の第4実施形態における製造方法に用いる規制治具により挟持された基板及び電極上に導電性ポリマー層を形成した状態の平面図であり、

[図13B]図13Bは、本発明の第4実施形態における製造方法に用いる規制治具により挟持された基板及び電極上に導電性ポリマー層を形成した状態の断面図であり、

[図13C]図13Cは、本発明の第4実施形態の変形例における製造方法に用いる、基台にマグネットを埋め込んだ規制治具により挟持された基板及び電極上に導電性ポリマー層を形成した状態の平面図であり、

[図13D]図13Dは、図13Cの規制治具により挟持された基板及び電極上に導電性ポリマー層を形成した状態の断面図であり、

[図13E]図13Eは、図13A及び図13Bの規制治具を使用した場合に生じうる不具合を示す部分拡大図であり、

[図13F]図13Fは、図13Dの規制治具を用いることにより、マグネットが電極をマグネット側に引きつける状態を示す断面図であり、

[図14A]図14Aは、本発明の上記実施形態のアクチュエータを関節駆動機構のアクチュエータに適用した本発明の第5実施形態における関節駆動機構の非駆動状態での側面図であり、

[図14B]図14Bは、本発明の上記実施形態のアクチュエータを関節駆動機構のアクチュエータに適用した本発明の第5実施形態における関節駆動機構の駆動状態での側面図である。

### 発明を実施するための最良の形態

- [0018] 以下に、本発明にかかる実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。
- [0019] 以下に、本発明にかかる実施の形態を詳細に説明する前に、本発明の種々の態様について説明する。
- [0020] 本発明の第1態様によれば、平板状の導電性ポリマー層と、  
上記導電性ポリマー層に接する電極と、  
上記電極に対向する対向電極と、  
上記電極と上記対向電極の間に上記導電性ポリマー層に接した電解質層とを有して、  
上記電極が、上記導電性ポリマー層の伸縮方向である長手方向に低剛性にかつ上記長手方向と略直交する幅方向に高剛性となるように上記長手方向に対して少なくとも1つの屈曲部を有してパターニングした平板状電極であり、両電極間に電界を印加することにより上記導電性ポリマー層を膨脹収縮変形させる平板薄型のアクチュエータを提供する。
- [0021] 本発明の第2態様によれば、上記電極は、上記導電性ポリマー層の伸縮方向である長手方向に対して複数の屈曲部を有するジグザク形状の平板状電極である第1の態様に記載の平板薄型のアクチュエータを提供する。
- [0022] 本発明の第3態様によれば、上記電極は、上記導電性ポリマー層の伸縮方向である長手方向と略直交する幅方向沿いの複数の帯状部と、上記隣接する帯状部同士を連結する上記長手方向沿いの連結部とより構成される平板状電極である第1又は第2の態様に記載の平板薄型のアクチュエータを提供する。
- [0023] 本発明の第4態様によれば、上記電極の、上記導電性ポリマー層の伸縮方向であ

る上記長手方向の両端に、平板状の延長部を設け、これらの延長部を力の作用部とする第1ー第3のいずれかの態様に記載の平板薄型のアクチュエータを提供する。

- [0024] 本発明の第5態様によれば、上記電極の表裏両面に上記導電性ポリマー層を設けるとともに、上記電極の上記延長部である力の作用部に穴を設け、上記表裏の導電性ポリマー層を連結することにより補強する第4の態様に記載の平板薄型のアクチュエータを提供する。
- [0025] 本発明の第6態様によれば、上記導電性ポリマー層を設けた上記電極と上記対向電極を交互に配置して積層する第1ー第5のいずれかの態様に記載の平板薄型のアクチュエータを提供する。
- [0026] 本発明の第7態様によれば、上記電極が、金、白金、ニッケル、チタン、ステンレス鋼などの金属又は合金、又は炭素よりなる薄板又は、これらの薄板に前記材質群をコーティング又は化学酸化等の表面処理を施したものである第1ー第6のいずれかの態様に記載の平板薄型のアクチュエータを提供する。
- [0027] 本発明の第8態様によれば、上記導電性ポリマー層が、ポリアニリン、ポリピロール又はポリチオフェン基体の $\pi$ 共役ポリマー、又はその誘導体である有機導電性ポリマー又はカーボン微粒子、カーボンナノチューブ、カーボンファイバー等の炭素分散系の導電性ポリマーより構成される第1ー第7のいずれかの態様に記載の平板薄型のアクチュエータを提供する。
- [0028] 本発明の第9態様によれば、上記電解質層が、イオン性液体を含有する高分子ゲル又は高分子である第1ー第8のいずれかの態様に記載の平板薄型のアクチュエータを提供する。
- [0029] 本発明の第10態様によれば、上記電極の厚みに対する上記導電性ポリマー層の厚みの比が3以下である第1又は2の態様に記載の平板薄型のアクチュエータを提供する。
- [0030] 本発明の第11態様によれば、平板状の導電性ポリマー層と、  
上記導電性ポリマー層に接する電極と、  
上記電極に対向する対向電極と、  
上記電極と上記対向電極の間に上記導電性ポリマー層に接した電解質層とを有し

て、

上記電極が、上記導電性ポリマー層の伸縮に伴う駆動力の出力方向に低剛性にかつ上記出力方向と略直交する方向に高剛性となるように上記出力方向に対して少なくとも1つの屈曲部を有してパターニングした平板状電極であり、両電極間に電界を印加することにより上記導電性ポリマー層を膨脹収縮変形させて上記駆動力を上記出力方向に出力させる平板薄型のアクチュエータを提供する。

[0031] 本発明の第12態様によれば、平板状の導電性ポリマー層を設けた電極と対向電極の間に上記導電性ポリマー層に接した電解質層を有し、両電極間に電界を印加することにより上記導電性ポリマー層を膨脹収縮変形させる平板薄型のアクチュエータにおける上記導電性ポリマー層と上記電極より構成される平板薄型のアクチュエータの平板状電極支持体の製造方法において、

上記電極として、平板状電極を、上記導電性ポリマー層の伸縮方向である長手方向に低剛性にかつ上記長手方向と略直交する幅方向に高剛性となるように上記長手方向に対して少なくとも1つの屈曲部を有するようにエッチング加工又は打ち抜き加工によりパターニングし、

上記パターニングされた平板状電極を、他の平板に当接させた状態で、上記電極に上記導電性ポリマー層を電解重合又はキャスト法で形成した後、上記平板を除去して上記平板状電極支持体を製造することを特徴とする平板薄型のアクチュエータ用平板状電極支持体の製造方法を提供する。

[0032] 本発明の第13態様によれば、上記平板を除去した面に、電解重合又はキャスト法で上記導電性ポリマー層をさらに形成して上記平板状電極支持体を製造する第12の態様に記載の平板薄型のアクチュエータ用平板状電極支持体の製造方法を提供する。

[0033] 本発明の第14態様によれば、上記電極となる平板状電極が、上記電極として残らない切り離し部に切り離し部連結部で連結された状態で、上記電極に上記導電性ポリマー層を電解重合又はキャスト法で形成した後、上記切り離し部連結部で切断し、上記切り離し部を除去して上記平板状電極支持体を製造する第12の態様に記載の平板薄型のアクチュエータ用平板状電極支持体の製造方法を提供する。

[0034] 本発明の第15態様によれば、上記電極となる平板状電極を磁性体とし、磁性体よりなる上記電極を上記他の平板に磁力で吸引して当接させる第12の態様に記載の平板薄型のアクチュエータ用平板状電極支持体の製造方法を提供する。

[0035] 以下に、本発明のかかる実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。

[0036] (第1実施形態)

図1A及び図1Bは本発明の第1実施形態における1つの形態を示す平板薄型のアクチュエータの平面図と断面図であって、電極1の厚み方向のいずれか一方の側、例えば、下側に導電性ポリマー層3と対向電極2を配置した構成である。この上記1つの形態は本発明の最小限の構成要素よりなる例である。

[0037] 一方、図1C及び図1Dは本発明の第1実施形態における別の形態を示す平板薄型のアクチュエータの平面図と断面図である。後者の図1C、図1Dの形態は、前者の図1A及び図1Bの形態における電極1を中心として、その厚み方向の上下の位置に導電性ポリマー層3と対向電極2を対称に配置した構成である。電極1と対向する2つの電極2に同相の電圧を印加することにより、アクチュエータを伸縮方向5に伸縮変形させることができる。この構成では、構造が厚み方向に対称であることから、剛性のアンバランスによる不要な曲げ変形は発生せず、アクチュエータの長手方向言い換えれば伸縮方向5の方向(すなわち、アクチュエータの駆動力の出力方向)に、効率良くアクチュエータを伸び縮みさせることができる点でより好ましい形態である。

[0038] 図1A及び図1Bに示すこれらのアクチュエータは、直方体の平板形状の導電性ポリマー層3と、導電性ポリマー層3の図1Aの上面側に埋め込まれるように設けたステンレス鋼などの金属の電極1と、電極1に対向するように電極1とは離れて配置されかつステンレス鋼などの金属の矩形板状の対向電極2と、電極1に接触している導電性ポリマー層3と対向電極2との間に接するように配置された電解質層4とを有して構成している。

[0039] 図1C及び図1Dに示すこれらのアクチュエータは、直方体の板形状の導電性ポリマー層3Cと、導電性ポリマー層3Cの図1Dの厚み方向の中央部に埋め込まれるように設けたステンレス鋼などの金属の電極1と、電極1に対向するように電極1とは離れて上下にそれぞれ配置されかつステンレス鋼などの金属の矩形板状の対向電極2と

、電極1と上下に接触しているそれぞれの導電性ポリマー層3Cとそれぞれの対向電極2との間に接するように配置された電解質層4とを有して構成している。前述したように、前者のアクチュエータ(図1A及び図1B)は、電極1の片側にのみに対向電極2を配置しているのに対し、後者のアクチュエータ(図1C及び図1D)は、電極1の上下両側に対向電極2を配置している点で異なっている。

[0040] なお、一例として、導電性ポリマー層の厚みとしては80  $\mu$  m以下、電極の厚みとしては5~50  $\mu$  mとして平板薄型のアクチュエータを構成するのが好ましい。電極の厚みは5  $\mu$  m未満では、その支持体としての機能を発揮することが困難であり、50  $\mu$  mを越えると、剛性が大きくなりすぎて、変位しにくいものとなるため好ましくない。また、導電性ポリマー層の厚みは80  $\mu$  mを超えると、導電性ポリマー層の表裏から出入りするイオン種が膜の中央まで行き渡ることが難しくなり、発生変位が小さくなるとともに動作速度が低下するため好ましくない。さらに、より好ましい例としては、導電性ポリマー層の厚みを30  $\mu$  m以下、電極の厚みを5~10  $\mu$  mとして平板薄型のアクチュエータを構成するのがよい。

[0041] 図1A~図1Dの導電性ポリマー層3, 3Cを設けた電極1は、導電性ポリマー層3, 3Cの伸縮方向(図1Aではアクチュエータの長手方向)5に低剛性となるようパターニング(パターン形成)され、平板状電極としている。図1A~図1Dの電極1のパターニングされたパターン形状は、上記長手方向5と略直交する幅方向(アクチュエータの幅方向)沿いに延在するように、かつ上記長手方向5に等間隔に多数の細長い矩形の幅方向短冊状パターン1aを配置し、長手方向沿いに延在する矩形の短い短冊状でかつ隣接する幅方向短冊状パターン(帯状部の一例。)1a同士をそれぞれの対向する幅方向の端部で連結部1bで連結して、アクチュエータの幅方向のそれぞれの端部で屈曲するような形状としている。このように隣接する幅方向短冊状パターン1aの端部同士を連結部1bで連結するとき、連結部1bが長手方向沿いに互い違いに配置されるようにして、大略ジグザグ状の形状を電極1が構成するようにしている。ここでいう、大略ジグザグ状の形状とは、少なくとも幅方向に切欠又は空間を1つ有しつつ長手方向5に連続するような細長い形状を意味する。上記大略ジグザグ状の形状が均一なパターンならば、アクチュエータとして動作制御しやすい。上記隣接する幅方

向短冊状パターン1aと連結部1bとで形成される空間内には、導電性ポリマー層3、3Cの一部が入り込んで、図1Aでは導電性ポリマー層3と電極1との上面が大略同一になるようにして、図1Aでは、上面から導電性ポリマー層3の厚みの半分程度まで電極1が埋め込まれている。一方、図1Dでは第1導電性ポリマー層3bと電極1との上面が大略同一になるようにして、図1Aと同様に上面から第1導電性ポリマー層3bの厚みの半分程度まで電極1が埋め込まれた状態で、上記上面に薄い直方体の板形状の第2導電性ポリマー層3aを配置して、結果的に、第1導電性ポリマー層3bと第2導電性ポリマー層3aとが合わさった導電性ポリマー層3Cの中間部に電極1が配置されるようにしている。機能的には、導電性ポリマー層3Cが図1Aの導電性ポリマー層3に相当する。

[0042] また、図1A～図1Dの各電極1の長手方向5(言い換えれば、矢印5はアクチュエータの駆動力の出力方向とも言える。)の両端には電極1の矩形板状の延長部1cをそれぞれ設け、各延長部1cを力の作用部としている。電極1の延長部1cである力の作用部の端縁とは反対側のパターン形成側には、電極1と導電性ポリマー層3との連結を強固にするための穴1dが図1Aでは3個、幅方向沿いに一直線上に設けられている。さらに、この力の作用部に連結ピン7を貫通するためのピン穴1gを延長部1cの中央付近に設け、各延長部1cを挟み込むフック6と各延長部1cとを、ピン穴1gを貫通したピン7で連結して、それぞれの延長部1cに作用する荷重8を支える構造としている。電極1と対向電極2の間には、この間に可変電圧を印加できる電源9をスイッチ10を介して接続して、スイッチ10をオンすることにより両電極1、2間に電圧を印加し、導電性ポリマー層3を長手方向5に伸縮させるようにしている。

[0043] この伸縮は、導電性ポリマーが有機導電性ポリマーである場合、電解質層4に含有されたイオン種が導電性ポリマー層3にドーピング又はアンドーピングされ、このことにより生じる。この伸縮は、イオン種がある程度の嵩を持っているため、その出入りに応じて導電性ポリマー層3の嵩も変化することや、酸化還元作用に伴う導電性ポリマー層3の導電性ポリマーの高分子鎖構造のコンフェオメーションの変化、さらに電圧印加により注入された同種電荷による静電反発などがその変形のメカニズムであるとされる。導電性ポリマーが炭素分散導電性ポリマーである場合は、この伸縮には上記

酸化還元を伴わないが、イオン種の出入と同種電荷の静電反発で変形すると考えられる。

[0044] 図2A、図2B、図2C及び図2Dには、動作原理の理解を分かりやすくするため、これらの変形のメカニズムの内、アニオン(陰イオン)が導電性ポリマー層3(ここでは、導電性ポリマー層3Cでも同様であるため、代表的に、導電性ポリマー層3で説明する。)にドーピング又はアンドープされることに伴う膨脹収縮変形の様子を断面図にて図示した。ある種の有機導電性ポリマーの材料系では、このアニオンのドープ、脱ドープが主たる変形のメカニズムとされる。図2Aはスイッチオフの状態で電極に電圧を印加していない状態を示す。図2Bは導電性ポリマー層3側に正電圧を印加した状態を示す。電圧無印加時に電解質層4に均質に存在したアニオンが正電極側の導電性ポリマー層側に引き寄せられ(図2A及び図2Bのアニオンの矢印参照。)、電解質層4から導電性ポリマー層3内にまで入り込み、この酸化過程に伴い導電性ポリマー層3の体積が膨脹し、導電性ポリマー層3の積層面内に沿った長手方向5の方向に導電性ポリマー層3が伸びる。なお、図2Bでは、アクチュエータの長手方向5の左端が固定され、右端が、スイッチオフの状態の右端の基準位置Rより伸びる状態を示している。図2Cは、スイッチオフの状態で電極に電圧を印加していない状態を示すとともに、図2Dは、図2Bとは逆に導電性ポリマー層3に負電圧を印加した状態を示す。導電性ポリマー層3に存在したアニオンは対向電極2の方に引き寄せられ(図2C及び図2Dのアニオンの矢印参照。)、導電性ポリマー層3から電解質層4内に離脱し、この還元過程に伴い導電性ポリマー層3の体積が収縮し、導電性ポリマー層3の積層面内に沿った長手方向5の方向に導電性ポリマー層3が縮む。なお、図2Dでは、アクチュエータの長手方向5の左端が固定され、右端が、スイッチオフの状態の右端の基準位置Rより縮む状態を示している。他の材料系では、カチオン(陽イオン)の導電性ポリマー層3への出入り、もしくはアニオンとカチオンの相互の出入りで伸縮する場合もあるが、ここではアニオンの出入りのみの場合に単純化して図示し、伸縮のメカニズムを説明した。

[0045] ここで、導電性ポリマー層3、3Cに電極1を設けることにより、電極1を設けない場合に比べて、印加電圧を瞬時に導電性ポリマー層3、3Cに均質にかけることができるた

め、上記イオン種のドーピング現象が高速に生じ、導電性ポリマー層3, 3Cを高速に伸縮させることができるとなる。電極1を、上記したように、導電性ポリマー層3, 3Cの伸縮方向である長手方向5に低剛性に、長手方向5と略直交する幅方向に高剛性となるようパターニングすることにより、導電性ポリマー層3, 3Cの伸縮を阻害することなく大きな発生歪を生じさせることができる。この大きな発生歪みを生じさせる機能は、単に伸縮を阻害しないという消極的な意味での機能だけでなく、パターニングされた電極1による剛性の異方性付与により、発生歪みを積極的に増大させる効果があることを発明者らは見出している。このことについては、後に図5A～図5Dにて詳しく述べる。

[0046] さらに、電極1を、支持体としての機能をも兼ね備えた平板状電極とすることにより、導電ポリマー層3, 3Cの薄片単独では扱いにくいものを、取り扱い容易なものとすることができる。ここで支持体としての機能とは、これを備えた平板状電極の少なくとも一部の剛性が、導電性ポリマー層の剛性より大きく、導電性ポリマー層を託持し支持する機能を持つことを指している。さらに、電極1が平板状であるため、アクチュエータとしての各構成要素も平面的構造となり、容易に積層できる構造とすることができる。積層したアクチュエータの伸縮に関わる導電性ポリマー層3, 3Cの断面比率は、このような平面積層構造をとることができるために、パッキング密度を高め易い利点がある。

[0047] 電極1を、伸縮方向である長手方向に低剛性となるようパターニングする具体的な構成としては、上記したように長手方向5と略直交する幅方向に、多数の細長いパターン1aを配置し、これらを連結部1bでジグザグ形状の屈曲状に連結する構成とするとい。平板の面内剛性は極めて高いが、このようなパターニングとすることにより、長手方向5の低剛性化が容易に実現できる。このような構成では同時に長手方向5と略直交する幅方向には高い剛性となり、長手方向とこれと略直交する方向とで剛性の異方性が付与される。

[0048] 上記第1実施形態では、長手方向の両端に電極1の延長部1cを設け、力の作用部とすることにより、アクチュエータとしての必須要素である力の作用部を、パターニングと同時に形成でき、電極1自体に力の作用部を構成したアクチュエータが実現できる

。したがって、力の作用部として別部材を要しない利点がある。さらに、電極1は伸縮作用を生じる導電性ポリマー層3, 3Cと直接連結されている部材であるので、力の作用部への負荷に対して優れた強度を確保することができる。

[0049] 電極1の延長部には穴1dを設け、導電性ポリマー層3, 3Cの導電性ポリマーが穴1dを埋める構成とすることによりアンカー効果を生じさせることができて、このアンカー効果により、この部分の強度を高める作用を行わせることができる。電極1と導電性ポリマー層3, 3Cとの間の界面における付着強度は、材質の組み合わせにより必ずしも強固ではない場合もあるが、このような穴1dを導電性ポリマーで埋める構成とすることにより、電極1と導電性ポリマー層3, 3Cとの間の界面における付着強度を補強することができる。

[0050] 図3A～図3Hは、第1実施形態のアクチュエータが伸縮する様子を平面図に示したものである。簡単のために、導電性ポリマー層3(図3A～図3Hでは、導電性ポリマー層3Cでも同様であるため、代表的に、導電性ポリマー層3で説明する。)とこれを設けた電極1のみを模式的に図示している。合わせて、本発明のアクチュエータの採用し得るいくつかの他の形態をも表す。図3A及び図3Bは、その電極1の形状が図1A～図1Dと同じ形式のパターン形状の場合である。図3Aは初期状態を表し、図3Bは、アクチュエータの長手方向5の左端が固定され、導電性ポリマー層3の右端が、図3Aの初期状態の基準位置Rより $\delta_1$ だけ伸びた状態を表す。すなわち、長手方向5と略直交する幅方向に電極1のそれぞれの細長いパターン1aが、この伸びに応じて長手方向5に沿って変形する様子を示す。

[0051] 図3C及び図3Dは、同様に、本発明の他の形態として、電極1の多数の細長いパターン1aのうちの1周期分の細長いパターン1aのパターン形状の場合の変形前後の様子を示す。すなわち、アクチュエータの長手方向5の左端が固定され、導電性ポリマー層3の右端が、図3Cの初期状態の基準位置Rより $\delta_2$ だけ伸びた状態を表す。

[0052] 一般にアクチュエータの変位を大きく稼ぐためには、アクチュエータの伸縮方向5をアクチュエータの長手方向とすることにより、伸縮部の長さを大きく取ると良いが、この例のように伸縮方向5と直交する幅方向を長手方向とすることもできる。本発明はアクチュエータの伸縮方向5をアクチュエータの長手方向に限定するものではない。

[0053] さらに、図3E及び図3Fは、本発明の別の他の形態として、本発明のアクチュエータのパターニングのパターン形状の取り得る最小の単位を表す。すなわち、図3Eでは、電極1の多数の細長いパターン1aのうちの半周期分の細長いパターン1aのパターン形状の場合を示しており、図3Fはでは、電極1の多数の細長いパターン1aのうちの1/4周期分の細長いパターン1aのパターン形状の場合を示している。

[0054] さらに、本発明の別の他の形態として、電極1と導電性ポリマー層3の幅方向の配置関係として、図3Gのように、電極1の幅が導電性ポリマー層3の幅より大きい配置としても良く、またこの配置関係を図3Hのように逆にしても良く、いずれも本発明の範囲内である。

[0055] 図4は、本発明の第1実施形態のアクチュエータの電極1のパターニングのパターン形状により、如何にその伸縮方向である長手方向の剛性を低剛性化できるかを計算した結果を示した表である。計算前提値として、材質はステンレス鋼SUS304、縦弾性率 $0.072 \times 10^{12} \text{ N/m}^2$ 、板厚 $10 \mu \text{m}$ とした。表中(a)の平板(べた形状)の電極の場合は、幅 $14 \text{ mm} \times$ 長さ $8 \text{ mm}$ の平板の上端を拘束し、平板の下端にトータル荷重 $1 \text{ mN}$ の分布荷重をかけた場合の下端中央の変位は $0.308 \mu \text{m}$ である。これに對し、表中(b)の全体幅 $14 \text{ mm} \times$ 長さ $8 \text{ mm}$ の部分に本発明の第1実施形態の電極1のパターニングのパターン形状では、線幅 $0.1 \text{ mm}$ 、ピッチ $1 \text{ mm}$ のパターニングしたものに、同じく $1 \text{ mN}$ の集中荷重を印加した場合の下端部の変位は $50.56 \text{ mm}$ と計算され、その剛性比は、前者の平板の場合を1として後者の剛性は $6.1 \times 10^{-6}$ となつた。このように、本発明の第1実施形態の電極1のパターニングにより、平板の場合と比べてその剛性を10万分の1以下とすることができます。

[0056] 表中(c)は、比較のために、電極1の細長いパターン1aを連結する連結部1bを、屈曲状に配置するのではなく、細長いパターン1aの幅の中央部に配置して長手方向に連ねた場合の計算結果を示している。下端に同じく $1 \text{ mN}$ の集中荷重をかけた場合の下端中央部の変位は $38.6 \mu \text{m}$ と計算され、その剛性比は $7.9 \times 10^{-3}$ であり、低剛性化は100分の1弱にとどまる。このように、大きな低剛性化効果を得るには、電極1の細長いパターン1aに対して連結部1bを屈曲状に配置する必要がある。さらに、表中(d)は波形に電極をパターニングした場合の計算結果であり、このような形状

でもかなりの低剛性化が計れる。

[0057] 図5B～図5Dは、図4に示した(b)～(d)のパターニングのパターン形状の電極に導電性ポリマー層を設け、この導電性ポリマー層の面内方向の収縮に伴う変形を有限要素法でシミュレーション計算したものである。導電性ポリマー層として材質をポリピロールとし、縦弾性率 $0.003 \times 10^{12} \text{ N/m}^2$ 、ポアソン比0.3、ポリピロールの面内方向に等方的に収縮するものとして、各電極パターニングのパターン形状の場合の変形を相対比較した。全体寸法は図4の場合と同様、幅14mm×長さ8mm、ポリピロールの導電性ポリマー層の厚みは $20 \mu \text{m}$ とした。

[0058] 図5Aは、電極が無く導電性ポリマー層のシートのみの場合を示し、この時の下端中央部の変位を1として、同一部位の相対変位を比較した。なお、計算結果は、この相対変位と共に、変形前後の形状と、拘束点(上端中央)からの各部の変位の等高線を濃淡表示して示している。

[0059] 図5Bは、図4の(b)の本発明の第1実施形態のパターニングのパターン形状の電極1に導電性ポリマー層3を設けた場合である。この場合の相対変位は1.16と計算され、単に、電極1のアクチュエータの長手方向5の剛性を低剛性化した事による変位の阻害が少ないと言うことにとどまらず、このような電極1の剛性の異方性により、発生変位は増大する効果があることが見出された。なお、図5Bにおいて、変形前の状態を一点鎖線で示し、変形後の縮んだ状態を実線で示す。

[0060] このような、本発明におけるアクチュエータ長手方向の発生変位増大効果は、この長手方向と略直交する幅方向の高い剛性のためこの方向の変位が拘束され、行き場を失った歪み成分がアクチュエータ長手方向の変位として加わることにより生じて いると解釈できる。

[0061] 尚、計算の前提とした、収縮が導電性ポリマー層のシートの面内で等方的に生ずるとした点やポアソン比が一定とした仮定は、必ずしも導電性ポリマー層の変形メカニズムにおいて厳密に正しいとは言い切れないが、計算の前提とした導電性ポリマー層の持つ弾性的性質が保たれることは、第1次近似としては期待できる。

[0062] 図5Cは、図4の(c)の電極1の細長いパターン1aの連結部1bを中央部で長手方向に連ねた電極に導電性ポリマー層のシートを設けた場合である。この場合には、発

生変位の増大効果は認められず、変位は導電性ポリマー層のシートのみの場合に比べて62%に減少する計算結果となった。

[0063] 図5Dは、図4の(d)の波形にパターニングした電極の場合である。この場合、上記図5Bの場合に比べて小さいものの、変位増大効果が認められる。しかし、図5Bの場合の変形が全面積の各部で均一に生じているのに対して、Dの場合には不均一な変形となっており、これに伴うアクチュエータとしての不要な歪みや内部応力は、アクチュエータとしての動作信頼性などに好ましくない影響があると考えられる。また、図5Bの場合には、電極から導電性ポリマー層のシートの平面上の距離は、全面積範囲で均一かつ近接しており、導電性ポリマー層に均質な電界を印加できるとともに、変形に寄与する導電性ポリマー層へのイオン種のドーピングも均一かつ高速に行うことができる。これに対して図5Dの場合には、電極から導電性ポリマー層のシートの平面上の距離は不均一であるから、これに応じた電界の不均一とイオン種のドーピングの不均一が生じ、これらの不均一に伴い動作の高速化にも限りを生じる。なお、図5Dにおいて、変形前の状態を一点鎖線で示し、変形後の縮んだ状態を実線で示す。このように、図5Dの場合は本発明の第1実施形態であるが、図5Bの場合の方がより好ましい。

[0064] 図5Eは、図5Bの本発明の第1実施形態にかかるアクチュエータにおいて、アクチュエータの長さを8mmとしつつアクチュエータの電極の膜厚を変えた場合( $5\mu\text{m}$ 、 $10\mu\text{m}$ 、 $20\mu\text{m}$ )の導電性ポリマー層の厚みに対するアクチュエータの変位量の関係を示すグラフである。また、図5Eは、図5Eは、図5Bの本発明の第1実施形態にかかるアクチュエータにおいて、アクチュエータの長さを8mmとしつつアクチュエータの電極の膜厚を変えた場合( $5\mu\text{m}$ 、 $10\mu\text{m}$ 、 $20\mu\text{m}$ )の導電性ポリマー層の厚みに対するアクチュエータの変位量の増大率(変位増大率)を示すグラフである。これらは、パターニングした電極について、その計算前提値として、前述と同様、材質はステンレス鋼SUS304、縦弾性率 $0.072 \times 10^{12}\text{N/m}^2$ 、ポアソン比0.3、その厚みは $10\mu\text{m}$ とした。これに対して、導電性ポリマー層について、その計算前提値として、材質はポリピロール、縦弾性率 $0.003 \times 10^{12}\text{N/m}^2$ 、ポアソン比0.3とし、その厚みを $10\mu\text{m}$ 、 $20\mu\text{m}$ 、 $40\mu\text{m}$ 、 $80\mu\text{m}$ 、 $160\mu\text{m}$ としてシミュレーションした結果を表した

ものである。導電性ポリマー層の厚みが電極の厚みと同程度の10  $\mu$  mの時には、変位増大率は30%であるが、厚みが増加するに従って、この変位増大効果は減少することが見出された。

[0065] 図5Gは、図5Fの結果を、縦軸に変位増大率、横軸に(導電性ポリマー層の厚み／電極の膜厚)の比をとてグラフ化したものである。特に、この(導電性ポリマー層の厚み／電極の膜厚)の比が3以下の場合に顕著な変位増大効果のあることが分かった。

[0066] 本発明の第1実施形態にかかるアクチュエータの長手方向(伸縮方向)に発生する変位増大効果は、この長手方向と略直交する幅方向の高い剛性のため、この幅方向の変位が拘束され、行き場を失った歪み成分がアクチュエータの長手方向(伸縮方向)の変位として加わることにより生じていると考えられるが、上述した厚み増加に伴って変位増大効果が減少する現象は、導電性ポリマー層の厚みが、パターニングした電極の厚みに比べて大きくなると、厚み方向の体積部分にこの歪み成分が吸収され、アクチュエータの長手方向(伸縮方向)の変位として寄与する成分が減少することが原因と考えられる。したがって、本発明の第1実施形態にかかるアクチュエータの構成により見出された変位増大効果は、特に、平板薄型のアクチュエータにおいて特徴的に発現する特性であることが分かった。

[0067] 導電性ポリマー層を膨脹収縮変形させるアクチュエータにおいては、その主要な変形原理が、酸化還元反応に伴うアニオン又はカチオンの導電性ポリマー層への出入りによるものであることから、過度の電圧を印加した場合にはこの電気化学反応が不可逆となり、サイクル寿命に影響する不具合を生じる。上述した本発明の第1実施形態にかかるアクチュエータの変位増大効果は、変位増大効果を持たない場合に比べて、同じ発生変位を得るのに相対的に低電圧で駆動できることを示しており、従って、不可逆な電気化学反応を避けることができるから、この点でも特に導電性ポリマー層を膨脹収縮変形させるアクチュエータにおいて有利な点であり、サイクル寿命、耐久性に優れたアクチュエータを提供することができる。同様に電解液も過度の電圧印加により分解し、アクチュエータの寿命に影響することから、低電圧駆動によりこの点を改善することができる。

[0068] さらに、導電性ポリマー層へのアニオン又はカチオンの出入りは、電圧印加による電荷注入により、これらのイオン種を出入りさせるものであり、このプロセスは拡散プロセスであることから、その速度は拡散プロセスで律速される。本発明の第1実施形態にかかるアクチュエータの導電性ポリマー層を平板薄型とする構成により、厚み方向全体に速やかにこの拡散を行わせることができ、高速駆動が可能なアクチュエータを提供することができる。

[0069] (実施例1)

図6は、電極1として厚さ $10\mu\text{m}$ のステンレス箔を、図3Aと同様の形態のジグザグ状の電極パターニングのパターン形状にエッチング加工した試作電極1-1を示している。細長いパターン1aの幅は $10\mu\text{m}$ 、長さ14mm、ピッチ1mmで配置している。これらのジグザグ状のパターンは非常に細い線状としているので、それ自体の自重で変形し形状を崩してしまう程の剛性であるので、補強の目的で、両側に長手方向沿いに配置された切り離し部1fを設け、細長いパターン1aの連結部1bと切り離し部1fとの間を、切り離し部連結部1eで連結している。後述するが、これらの切り離し部1fは、電極1-1に導電性ポリマー層3を形成した後、図6中的一点鎖線の切断位置21で切り離して除去する。切断後の、電極1のパターン形成部の寸法は長さ100mm、幅14mm(前述の細長いパターン1aの長さに相当)とした。この電極1-1の両端部には力の作用部として機能させる延長部1cを設けてあり、フックをピンで結合させるためのピン穴1gを設けてある。また、電極1-1の延長部1cの端部には、さらに引き出し電極1hを設けている。なお、両端に配置した、ピン穴1gより外側の小さな穴と長穴は製作工程中のピン位置決め用として設けた穴である。

[0070] 導電性ポリマー層3のこの電極1-1への形成は、電解重合やキャスト法で行うことができるが、ここでは、有機導電性ポリマーの形成法として電解重合法を用いた。この場合、このパターニングした電極部の電極が存在しない部位にも導電性ポリマー層3を重合成長させるため、図6の電極を別のステンレス製平板電極に当接させた状態で電解重合した後、これを取り除いた。導電性ポリマー層3として、ピロールのモノマー0.1モル/リットルと、支持電解質層となるパラフェノールスルfonyl酸0.25モル/リットルを溶解した水溶中に、上記電極を析出電極としてガルバノスタットモード(定

電流制御モード)にて、電流密度1mA/cm<sup>2</sup>で、膜厚20μmのポリピロールを電解重合により合成した。

[0071] 次に、電解質層として、ブチルメチルイミドカチオン(BMIM<sup>+</sup>)ヘキサフロフォスフェート(PF<sub>6</sub><sup>-</sup>)を含有したイオン性流体を含有する高分子ゲルシートを、上記ポリピロールシートに貼り合わせ、この高分子ゲルシートに対向電極として炭素粉末を噴霧塗布した。

[0072] 上記構成のアクチュエータに±1Vの電圧印加したところ、無負荷状態でその長手方向に約3.5%のひずみが、またその変位を拘束した状態で約3MPaの発生応力が観測された。なお、上記と同様の材料系で、本発明の上記第1実施形態の電極1を用いず、ポリピロール単体で発生変位を調べたところ、その発生変位は約3%であり、本発明の上記第1実施形態の電極1を用いることによる変位増大効果が確認できた。

[0073] 前述した及び後述する本発明の各実施形態において、電極1の材質としては、上記実施形態のステンレス鋼以外に、金、白金、ニッケル、若しくはチタンなどの金属又は合金、又は炭素を用いてもよい。さらに、これらの薄板に前記の材料群をスパッタ蒸着等によるコーティングをしてよい。さらに、これらの表面を化学酸化等による表面処理を施してもよい。これらの材質のうちチタンの薄板又はチタンをスパッタ蒸着にてコーティングした表面をSCl溶液(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>:NH<sub>3</sub>:水=1:1:5)等のアルカリ水溶液で化学酸化処理したものは、特にポリピロールとの付着強度が良好で好ましかった。また、この化学酸化膜はポリピロールとの導電性も良好であった。

[0074] 前述した及び後述する本発明の各実施形態において、導電性ポリマー層3の材料としては、ポリアニリン、ポリピロール又はポリチオフェン基体のπ共役ポリマー、又はその誘導体の有機導電性ポリマー、又はカーボン微粒子、カーボンナノチューブ、カーボンファイバー等の炭素系導電性ポリマーを用いることで、上記実施形態と同様の膨脹収縮変形させるアクチュエータを実現できる。

[0075] 前述した及び後述する本発明の各実施形態において、キャスト法で有機導電性ポリマー層を形成する例としては、酸化重合により合成したポリアニリンの塩基性エメラルデイン(エメラルデインベース:EB)の粉末を溶媒に溶かし、基板上に展開して溶媒

を蒸発させることでポリアニリンのキャストフィルムが有機導電性ポリマー層として得られる。

[0076] また、キャスト法で炭素分散系の導電性ポリマー層を形成する例としては、カーボン微粒子をナフイオン分散溶液に混合し、基板上に展開して溶媒を蒸発させることで得ることができる。

[0077] 前述した及び後述する本発明の各実施形態において、電解質層として、上記実施形態のようにイオン性液体を含有する高分子ゲル又は高分子とすることにより次の利点がある。すなわち、イオン性液体は、常温でその蒸気圧が1mHg以下であり不揮発であり、したがって電解質層が蒸発により変化することがなく、大気中で信頼性良く長期に渡って使用することができる。

[0078] 前述した及び後述する本発明の各実施形態において、電解質層を構成する電解質としては、纖維状のシートを用いこれに電解質溶媒を物理的に含浸させたものや、電解質溶媒を高分子ゲル骨格にを持させたものが考えられる。電解質としてイオン性流体を用い、纖維状のシートにこれを物理的に含浸させたものや、これを高分子ゲル骨格にを持させたものが考えられる。

[0079] 前述した及び後述する本発明の各実施形態において、対向電極としては、上記実施形態の炭素粉末を塗布したもの以外に、カーボン又は金などの非酸化性金属粉末を含有した導電ペースト又はグリースを塗布してもよい。また、金、白金、ニッケル、若しくはチタンなどの金属又は合金、又は炭素などの蒸着薄膜又はこの薄膜をパターニングして、アクチュエータの長手方向の剛性を低減化したものを用いてもよい。

[0080] 前述した及び後述する本発明の各実施形態において、さらに電極1と同様の構成の平板状電極を対向電極2として用いることとしてもよいことは勿論である。

[0081] (第2実施形態)

図7A及び図7Bは本発明の第2実施形態における、別の電極パターニングのパターン形状を持つ平板薄型のアクチュエータの平面図と断面図である。図7A及び図7Bに示すアクチュエータは、導電性ポリマー層3を設けた電極1-2(上記電極1に相当。)と、対向電極2の間に、導電性ポリマー層3に接した電解質層4を有していることは図1の場合と同様である。導電性ポリマー層3を設けた電極1-2は、導電性ポリマ

一層3の伸縮方向5に低剛性となるようパターンングされ、支持体を兼ねた平板状電極としている。図7A及び図7Bの電極1-2のパターンングのパターン形状は、上記長手方向5と直交する方向を主体に、多数の細長いパターン1a-2(上記細長いパターン1aに相当。)を配置し、これらを連結部1bで連結した形状としている。この点も図1Aと同様であるが、細長いパターン1a-2により形成する基本パターンが閉回路的に(言い換えれば、四角柱状に)閉じており、これらを連結部1bで連結したものである。この場合、もし閉回路パターン部1a-2で断線しても、図1Aのパターンの場合に比べて致命的な電極1-2の導通不良には至らないメリットがある。

[0082] 図8A及び図8Bは本発明の第2実施形態における別の形態の電極1-3(上記電極1に相当。)のパターンングのパターン形状を持つアクチュエータの平面図と断面図である。図中の構成要素及びその作用は図1Aと同様であるので記述を省略する。この電極パターンングのパターン形状の特徴は、多数の細長いパターン1a-3(上記細長いパターン1aに相当。)に対してその連結部1bの箇所をさらに減らし、細長いパターンで構成される閉回路パターン部1a-3を増やした構成である。この結果、電極が万一断線した場合、致命的に機能しなくなる確率をさらに小さくすることができる。

[0083] 図9A及び図9Bは本発明の第2実施形態における、さらに別の形態の電極1-4(上記電極1に相当。)のパターンングのパターン形状を持つアクチュエータの平面図である。図9Aでは電極1-4の延長部1c(力の作用部)に近い場所の細長いパターン1a-4(上記細長いパターン1aに相当。)及び連結部1b-4(上記連結部1bに相当。)の幅を、それ以外の部分の細長いパターン1a-5(上記細長いパターン1aに相当。)及び連結部1b-5(上記連結部1bに相当。)の幅よりも相対的に幅広くし、伸縮方向5の剛性を高めている。このことにより、この延長部1c(力の作用部)に近い部位の強度を補強する効果がある。図9Bは、本発明の第2実施形態における、さらに別の形態の電極1-6(上記電極1に相当。)のパターンングのパターン形状を持つアクチュエータとして、図9Aと同様にこの延長部1c(力の作用部)に近い部位の細長いパターン1a-6(上記細長いパターン1aに相当。)と連結部1b-6(上記連結部1bに相当。)を複数列配置する構成とし、この部位の伸縮方向5の剛性を高めてこの部位の

強度を補強することができる。このように電極1-6のパターニングのパターン形状を任意に分布させることにより、望ましい機能付与を行うことができる。

[0084] (第3実施形態)

図10A、図10B及び図11A、図11Bは、それぞれ本発明の第3実施形態における積層型のアクチュエータと第3実施形態の別の形態における積層型のアクチュエータの平面図と断面図を示す。

[0085] 図10A、図10Bに示すアクチュエータは、図7Aの第2実施形態の平板薄型のアクチュエータの上面に第2の導電性ポリマー層を導電性ポリマー層3と一体的に形成して、導電性ポリマー層3の中央部分に電極1-2が配置されるようにし、かつ、導電性ポリマー層3の上面側にも電解質層4と対向電極2とが配置されたものを平板薄型の単位構成体としている。この平板薄型の単位構成体を複数、例えば、電極1-2と導電性ポリマー層3と電解質層4と対向電極2とが互いに平行に配置されるように、3段に積み重ね、かつ、第1段のアクチュエータの下端の対向電極2と第2段のアクチュエータの上端の対向電極2とを1つの対向電極2で共用するとともに、第2段のアクチュエータの下端の対向電極2と第3段のアクチュエータの上端の対向電極2とを1つの対向電極2で共用するようにしている。さらに、第1段のアクチュエータの各延長部1cと第2段のアクチュエータの各延長部1cとの間に導電性連結部材13を介在させて互いに電気的に接続しあつ第2段のアクチュエータの各延長部1cと第3段のアクチュエータの各延長部1cとの間に導電性連結部材13を介在させて互いに電気的に接続する。そして、第1段のアクチュエータの延長部1cから第3段のアクチュエータの延長部1cまでをフック6で挟み込み、このフック6と、挟み込まれた第1段のアクチュエータの延長部1cと上側の導電性連結部材13と第2段のアクチュエータの延長部1cと下側の導電性連結部材13と第3段のアクチュエータの延長部1cとをピン7が貫通して、このピン7でこれらの部材を連結することにより、それぞれの延長部1cに作用する荷重8を支える構造としている。なお、図10Aの12は、第3段のアクチュエータの対向電極2の幅方向沿いにはみ出た突出部であり、この突出部12に、スイッチ10と電源9を有する回路の一端を接続し、他端をいずれか一方のアクチュエータの端部に配置された導電性連結部材13に接続している。

[0086] また、図11A、図11Bに示すアクチュエータは別の形態のものを示す。すなわち、図11A、図11Bに示すアクチュエータは、図7Aの第2実施形態のアクチュエータの上面に第2の導電性ポリマー層を導電性ポリマー層3と一体的に形成して、導電性ポリマー層3の中央部分に電極1-2が配置されるようにし、かつ、導電性ポリマー層3の上面側にも電解質層4と対向電極2とが配置されたものを基本的には単位構成体とし、この単位構成体を複数、例えば、電極1-2と導電性ポリマー層3と電解質層4と対向電極2とが互いに平行に配置されるように、2段に積み重ね、かつ、上側(図11Bでは第2段目)のアクチュエータの下端の対向電極2と下側(図11Bでは第3段目)のアクチュエータの上端の対向電極2とを1つの対向電極2で共用するようにしている。さらに、最上段(図11Bでは第1段目)のアクチュエータでは、導電性ポリマー層3の上面側には電解質層4と対向電極2とを配置せず、最下段(図11Bでは第4段目)のアクチュエータでは、導電性ポリマー層3の下面側には電解質層4と対向電極2とを配置しないようにしたものである。さらに、第1段目のアクチュエータの各延長部1cと第2段目のアクチュエータの各延長部1cとの間に導電性連結部材13を介在させて互いに電気的に接続し、かつ第2段目のアクチュエータの各延長部1cと第3段目のアクチュエータの各延長部1cとの間に導電性連結部材13を介在させて互いに電気的に接続し、かつ第3段目のアクチュエータの各延長部1cと第4段目のアクチュエータの各延長部1cとの間に導電性連結部材13を介在させて互いに電気的に接続する。そして、第1段目のアクチュエータの延長部1cから第4段目のアクチュエータの延長部1cまでをフック6で挟み込み、このフック6と、挟み込まれた第1段目のアクチュエータの延長部1cと上側の導電性連結部材13と第2段目のアクチュエータの延長部1cと中間の導電性連結部材13と第3段目のアクチュエータの延長部1cと下側の導電性連結部材13と第4段目のアクチュエータの延長部1cとをピン7が貫通して、このピン7でこれらの部材を連結することにより、それぞれの延長部1cに作用する荷重8を支える構造としている。なお、図11Aの14は、第1段目のアクチュエータの下側の対向電極2の幅方向沿いにはみ出た突出部であり、この突出部14に、スイッチ10と電源9を有する回路の一端を接続し、他端をいずれか一方のアクチュエータの端部に配置された導電性連結部材13に接続している。

[0087] 上記第3実施形態における積層型のアクチュエータ及び上記第3実施形態の別の形態における積層型のアクチュエータでは、電極1-2が平板状であるためアクチュエータとしての各構成要素も平面的構造となり、このように容易に積層できる構造とすることができる。積層したアクチュエータの伸縮に関わる導電性ポリマー層3の断面比率は、このような平面積層構造を探ることができますため、パッキング密度を高めやすい利点がある。この結果、単層ではその断面積に限りがある導電性ポリマー層3の断面積を増大させることができ、ロボット等に応用するのに際して必要となる大きな発生力を持ったアクチュエータを実現することができる。

[0088] なお、導電性ポリマー層3へのイオン種の出入りは拡散プロセスであり、拡散に要する時間を短縮するには導電性ポリマー層3は薄いほうがよいというトレードオフがある。したがって、多数の薄い導電性ポリマー層3を重ねて断面積を稼ぐことが望ましい。

[0089] (第4実施形態)

第4実施形態として、前述した第1から第3実施形態のアクチュエータを形成するための基本部材としてのアクチュエータ用平板状電極支持体の製造方法について説明する。

[0090] 図12A, 図12B～図12H, 図12Iは、電極1に導電性ポリマー層3が設けられて構成される平板状電極支持体とその製造方法を示す平面図及び断面図である。図12A, 図12Bにおいて主要な構成部材は図1Aで説明した平板薄型のアクチュエータの電極1(図12Aでは、空間部分と区別するため、電極1にハッチングを付している。)と同様であるので詳述は省略する。ここでは、平板状電極支持体90を製造するのに便ならしめる構成要素として、最終的に電極1として残らない切り離し部1fを幅方向の両側に設けた平板状電極1としている。電極1のパターニングした多数の細いパターン部1aを互いに連結する各連結部1bを、切り離し部連結部1eで、それぞれ対向する切り離し部1fに連結している。このようなパターニングは、エッチング加工又は打ち抜き加工により行う。図12A, 図12Bは、このような平板状電極1を別の平板20に密着当接させて支持されている状態を示す。

[0091] 次に、図12C, 図12Dは、平板20に密着当接させた平板状電極1の大部分と平板20とを覆うように導電性ポリマー層3を形成した状態を示す(図12Cでは、空間部分

と区別するため、電極1にハッチングを付している。)。導電性ポリマー層3は電解重合により形成する場合は平板20を平板電極とし、電極1と平板電極20の両方を析出電極として導電性ポリマーを電解析出させて電極1の大部分と平板電極20とを覆うように導電性ポリマー層3を形成している。前述した実施例1のポリピロールの導電性ポリマー層3はこの方法で形成した。導電性ポリマー層3の別の形成法として、キャスト法を用いることもできる。この場合、平板20は必ずしも電極である必要はなく、導電性ポリマー層3を印刷塗布などの方法で形成することができる。キャスト法で導電性ポリマー層3を形成する例としては、酸化重合により合成したポリアニリンの塩基性エメラルデイン(エメラルデインベース:EB)の粉末を溶媒に溶かし、基板上に展開して溶媒を蒸発させることで、ポリアニリンのキャストフィルムが導電性ポリマー層3として得られる。

[0092] 次に、このように電極1の大部分を覆うように導電性ポリマー層3を平板20上に形成した後、平板20を電極1と導電性ポリマー層3から剥離除去する。このように平板20が電極1と導電性ポリマー層3から除去された状態を図12E、図12Fに示す。必要に応じて、図12Gの断面図に示すように導電性ポリマー層3の裏面にも導電性ポリマー層3dを形成することができる。このように平板状電極支持体90の両面に導電性ポリマー層3、3dを形成することにより、その有効面積を増大できるとともに、力の作用部である延長部1cに設けた穴1dが表裏で連結され、補強効果が大きくなる利点がある。また、平板状電極支持体90を中心に対称構造とすることができるため、導電性ポリマー層3、3dの膨脹収縮のアンバランスがなく不要な曲げ変形なく効率良く伸縮方向5の方向に伸縮変形できる、導電性ポリマー層3、3d付きの平板状電極支持体90を得ることができる。

[0093] 最後に、図12Eの切り離し線21の部位で、平板状電極1から両側の切り離し部1fをそれぞれ切り離すことにより、図12H、図12Iに示す導電性ポリマー層3、3d付きの平板状電極支持体90を得る。パターニングされた平板状電極1に他の平板20を直接させた状態で導電性ポリマーを電解重合又はキャスト法等で形成した段階では、平板20との当接部の界面は強固には接着されないので、平板20を電極1と導電性ポリマー層3から容易に剥離することができる。さらに、平板20として例えればバフ研磨

により鏡面加工されたステンレス鋼板や、ポリッシング加工したグラッシーカーボン(非品質カーボン)板など、表面が十分平滑な平板を使用することにより、さらに容易に剥離できることを本発明者らは見出している。特にグラッシーカーボン板はその表面硬度が高く、化学的安定性に優れ、繰り返し使用できる点で優れている。このような製造方法を採ることにより、本発明のアクチュエータ用平板状電極支持体を簡便かつ容易に製造することができる。

[0094] さらに、図13A、図13Bは、導電性ポリマー層3を電解重合にて形成する際に用いる規制治具と、この治具により挟持された基板20及び電極1上に導電性ポリマー層3を形成した状態の、平面図と断面図を示す。規制治具は、基板20を載置する基台31と、矩形板状の基台31に載置されかつ導電性ポリマー層3を形成する領域に対応した開口窓30aを有する矩形枠状のマスク板30よりなる。これらにより、基台31に基板20を載置しマスク板30で覆うことにより、基台31とマスク板30との間で基板20及び電極1を密着した状態で挟んだ上、その両端部で、それぞれ、ねじ32をマスク板30の貫通穴と電極1のピン穴1gとを貫通させて、基板20のねじ穴内にねじ込むことにより取り付ける。これらを電解液に浸けると、導電性ポリマー層3を形成する領域以外の基板20と電極1の部分が基台31とマスク板30とで挟持されるため、導電性の基板20と電極1が、開口窓30aの部位でのみ電解液にさらされることになり、この部位のみに導電性ポリマー層3が電解重合により合成される。

[0095] このようにすれば、基板20と電極1に対して、導電性ポリマー層3を形成する領域以外の部分を基台31とマスク板30とで覆うことにより、導電性ポリマー層3を形成する領域のみを露出させ、当該部位導電性ポリマー層3を確実にかつ容易に形成することができる。

[0096] さらに、図13C、図13Dに上記規制治具の他の実施形態として、基台31Aにマグネット33を埋め込んだ場合の規制治具を示す。図13Eは、図13A、図13Bの規制治具を使用した場合に生じうる不具合を示す部分拡大図であり、電極1と平板20の密着が悪く、隙間34が出来る場合がある。このような隙間34が生じた場合には、この上に導電性ポリマーを形成する場合に、局部的な膜欠陥が生じやすい。これに対して、図13Fに示すように、電極1として、たとえば磁性ステンレス材料若しくはニッケル箔

など磁性材料よりなる薄板を用い、かつこのマグネット33を埋め込んだ規制治具を用いることにより、マグネット33が電極1をマグネット側に引きつけるから、電極1と平板20は隙間なく密着させる効果がある。さらに、導電性ポリマー層を電界重合で形成する場合にこのマグネット付近の磁界の集中部を核として導電性ポリマー層の合成のイニシエーションが起こることから、全体に均質な導電性ポリマー層の合成を行わしめることができる。上記平板状電極の磁性材料としてSUS430などの磁性を有するステンレス鋼及びニッケルなどが、電解質中で非腐食性の材質として使用することができる。

[0097] (第5実施形態)

本発明の第5実施形態として、本発明の上記第1～第4実施形態のいずれかのアクチュエータを関節駆動機構のアクチュエータ40、40'に適用した例を示す。図14Aに第5実施形態の関節駆動機構の側面図を示す。この関節駆動機構は、1対のアクチュエータ40、40'をリンク41により接続された回動可能な間接駆動機構の間接部42をまたがって連結し、これらの一対のアクチュエータ40、40'のそれぞれの電極1などに駆動電源43より逆位相の電圧を印加して駆動するとともに、必要に応じてこれらのそれぞれの電極1などに駆動電源43よりバイアス電圧を重畠することにより拮抗駆動する構成としたものである。このことにより、図14Bに示す如く、例えば、アクチュエータ40が、図2Dに示されるように、長手方向5沿いに導電性ポリマー層3が縮む一方、アクチュエータ40'が、図2Bに示されるように、長手方向5沿いに導電性ポリマー層3が伸びることにより、リンク41が右上向きに傾くように、この関節駆動機構を駆動することができる。逆に、一対のアクチュエータ40、40'のそれぞれの電極1などに駆動電源43より上記とは逆の電圧を印加すれば、リンク41が右下向きに傾くように、この関節駆動機構を駆動することができる。

[0098] よって、変形自在で制御性に優れたロボット用関節駆動機構を提供することができる。

[0099] 尚、上記、様々な実施形態の内の任意の実施形態を適宜組み合わせることにより、それぞれの有する効果を奏するようにすることができる。

[0100] 本発明は、添付図面を参照しながら好ましい実施形態に関連して充分に記載され

ているが、この技術の熟練した人々にとっては種々の変形や修正は明白である。そのような変形や修正は、添付した請求の範囲による本発明の範囲から外れない限りにおいて、その中に含まれると理解されるべきである。

### 産業上の利用可能性

[0101] 本発明のアクチュエータは、平板状の導電性ポリマー層を設けた電極と対向電極の間に上記導電性ポリマー層に接した電解質層を有し、両電極間に電界を印加することにより上記導電性ポリマー層を膨脹収縮変形させる平板薄型のアクチュエータにおいて、上記導電性ポリマー層を設けた電極が、導電性ポリマー層の伸縮方向である長手方向に低剛性となるように、かつ上記長手方向と略直交する方向に高剛性となるようにパターニングした支持体を兼ねた平板状電極であることとし、家庭やオフィス、病院などで家事支援や仕事支援、高齢者や障害者の介護支援などで人の間近で活躍することが期待されるロボットなどの機器を代表例とした各種機器の駆動源として、駆動源自体が小型軽量かつ柔軟で、安全である平板薄型のアクチュエータとして有用である。

## 請求の範囲

[1] 平板状の導電性ポリマー層(3)と、  
上記導電性ポリマー層(3)に接する電極(1)と、  
上記電極(1)に対向する対向電極(2)と、  
上記電極(1)と上記対向電極(2)の間に上記導電性ポリマー層に接した電解質層(4)とを有して、  
上記電極(1)が、上記導電性ポリマー層の伸縮方向である長手方向(5)に低剛性にかつ上記長手方向と略直交する幅方向に高剛性となるように上記長手方向に対して少なくとも1つの屈曲部を有してパターニングした平板状電極であり、両電極間に電界を印加することにより上記導電性ポリマー層を膨脹収縮変形させる平板薄型のアクチュエータ。

[2] 上記電極(1)は、上記導電性ポリマー層の伸縮方向である長手方向に対して複数の屈曲部を有するジグザク形状の平板状電極である請求項1に記載の平板薄型のアクチュエータ。

[3] 上記電極(1)は、上記導電性ポリマー層の伸縮方向である長手方向と略直交する幅方向沿いの複数の帯状部(1a)と、上記隣接する帯状部同士を連結する上記長手方向沿いの連結部(1b)により構成される平板状電極である請求項1又は2に記載の平板薄型のアクチュエータ。

[4] 上記電極(1)の、上記導電性ポリマー層の伸縮方向である上記長手方向の両端に、平板状の延長部(1c)を設け、これらの延長部を力の作用部とする請求項1又は2に記載の平板薄型のアクチュエータ。

[5] 上記電極(1)の表裏両面に上記導電性ポリマー層を設けるとともに、上記電極(1)の上記延長部である力の作用部に穴(1d)を設け、上記表裏の導電性ポリマー層を連結することにより補強する請求項4に記載の平板薄型のアクチュエータ。

[6] 上記導電性ポリマー層を設けた上記電極(1)と上記対向電極(2)を交互に配置して積層する請求項1又は2に記載の平板薄型のアクチュエータ。

[7] 上記電極(1)が、金、白金、ニッケル、チタン、ステンレス鋼などの金属又は合金、又は炭素よりなる薄板又は、これらの薄板に前記材質群をコーティング又は化学酸

化等の表面処理を施したものである請求項1又は2に記載の平板薄型のアクチュエータ。

[8] 上記導電性ポリマー層が、ポリアニリン、ポリピロール又はポリチオフェン基体のπ共役ポリマー、又はその誘導体である有機導電性ポリマー又は炭素分散系の導電性ポリマーより構成される請求項1又は2に記載の平板薄型のアクチュエータ。

[9] 上記電解質層が、イオン性液体を含有する高分子ゲル又は高分子である請求項1又は2に記載の平板薄型のアクチュエータ。

[10] 上記電極の厚みに対する上記導電性ポリマー層の厚みの比が3以下である請求項1又は2に記載の平板薄型のアクチュエータ。

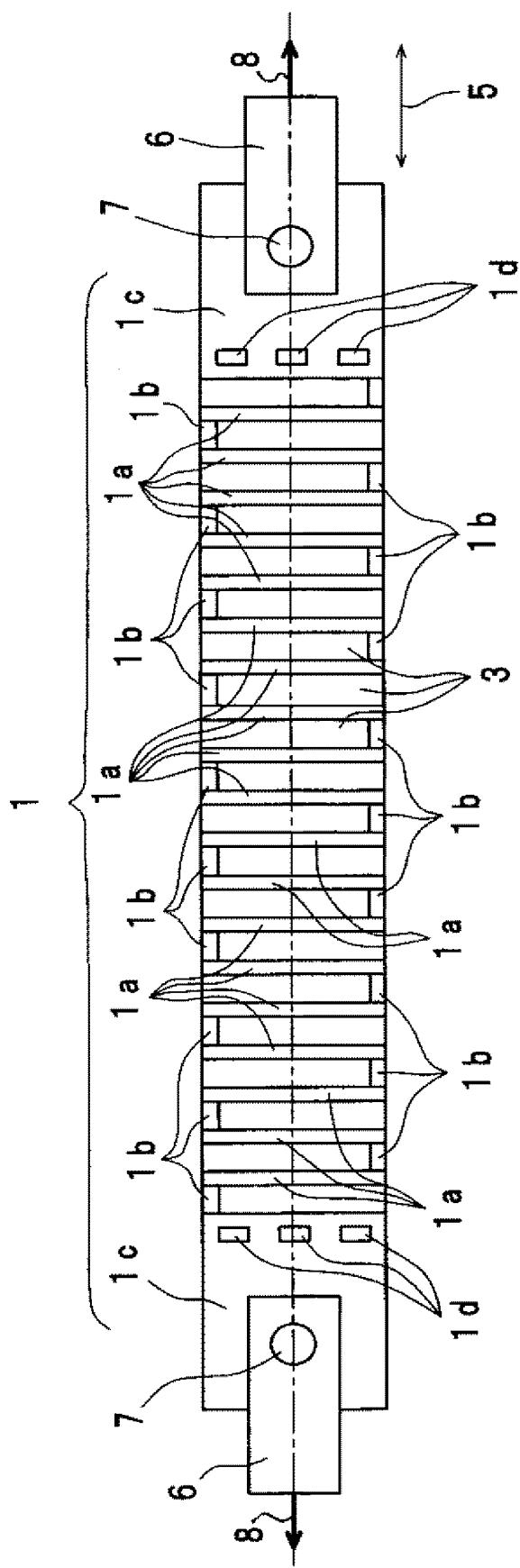
[11] 平板状の導電性ポリマー層(3)と、  
上記導電性ポリマー層(3)に接する電極(1)と、  
上記電極(1)に対向する対向電極(2)と、  
上記電極(1)と上記対向電極(2)の間に上記導電性ポリマー層に接した電解質層(4)とを有して、  
上記電極(1)が、上記導電性ポリマー層の伸縮に伴う駆動力の出力方向(5)に低剛性にかつ上記出力方向と略直交する方向に高剛性となるように上記出力方向に對して少なくとも1つの屈曲部を有してパターニングした平板状電極であり、両電極間に電界を印加することにより上記導電性ポリマー層を膨脹収縮変形させて上記駆動力を上記出力方向に出力させる平板薄型のアクチュエータ。

[12] 平板状の導電性ポリマー層(3)を設けた電極(1)と対向電極(2)の間に上記導電性ポリマー層に接した電解質層(4)を有し、両電極間に電界を印加することにより上記導電性ポリマー層を膨脹収縮変形させる平板薄型のアクチュエータにおける上記導電性ポリマー層と上記電極より構成される平板薄型のアクチュエータの平板状電極支持体の製造方法において、  
上記電極(1)として、平板状電極を、上記導電性ポリマー層の伸縮方向である長手方向(5)に低剛性にかつ上記長手方向と略直交する幅方向に高剛性となるように上記長手方向に對して少なくとも1つの屈曲部を有するようにエッチング加工又は打ち抜き加工によりパターニングし、

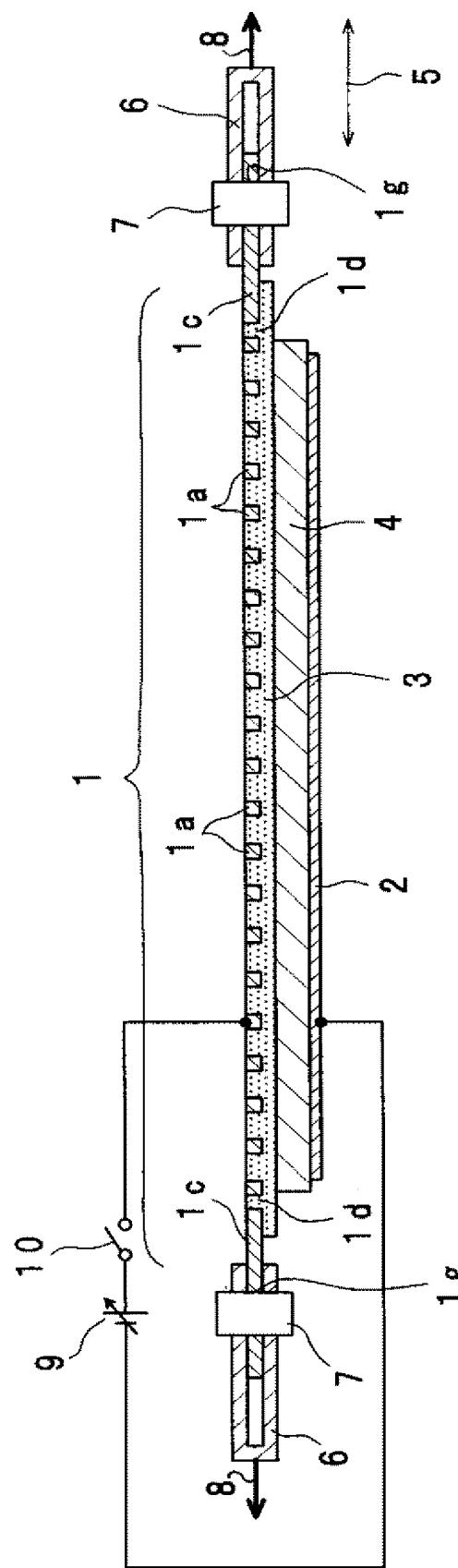
上記パターニングされた平板状電極を、他の平板(20)に当接させた状態で、上記電極(1)に上記導電性ポリマー層を電解重合又はキャスト法で形成した後、上記平板を除去して上記平板状電極支持体を製造する平板薄型のアクチュエータ用平板状電極支持体の製造方法。

- [13] 上記平板を除去した面に、電解重合又はキャスト法で上記導電性ポリマー層(3d)をさらに形成して上記平板状電極支持体を製造する請求項12に記載の平板薄型のアクチュエータ用平板状電極支持体の製造方法。
- [14] 上記電極(1)となる平板状電極が、上記電極(1)として残らない切り離し部(1f)に切り離し部連結部(1e)で連結された状態で、上記電極(1)に上記導電性ポリマー層を電解重合又はキャスト法で形成した後、上記切り離し部連結部で切断し、上記切り離し部を除去して上記平板状電極支持体を製造する請求項12に記載の平板薄型のアクチュエータ用平板状電極支持体の製造方法。
- [15] 上記電極(1)となる平板状電極を磁性体とし、磁性体よりなる上記電極(1)を上記他の平板(20)に磁力で吸引して当接させる請求項12に記載の平板薄型のアクチュエータ用平板状電極支持体の製造方法。

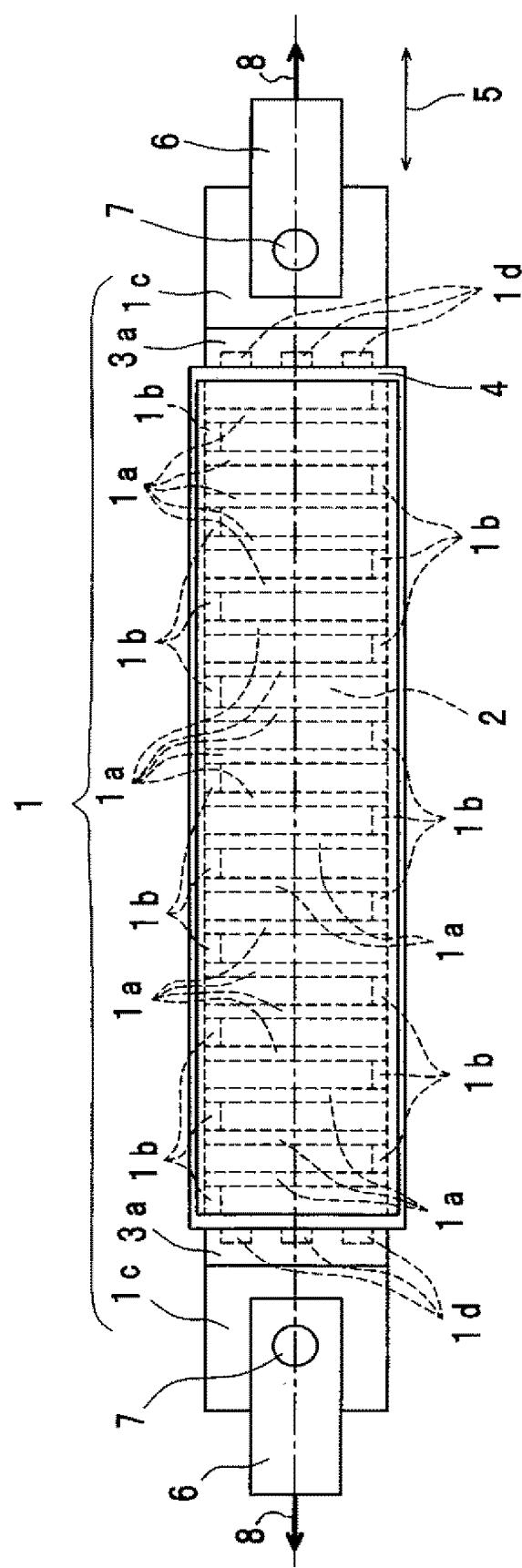
[図1A]



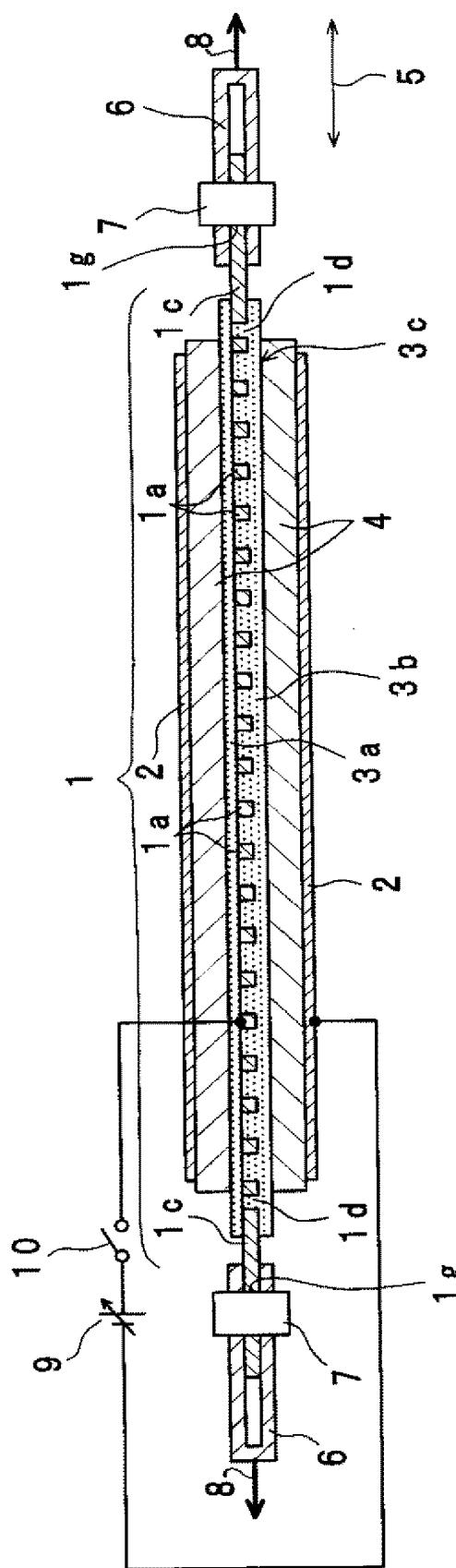
### [図1B]



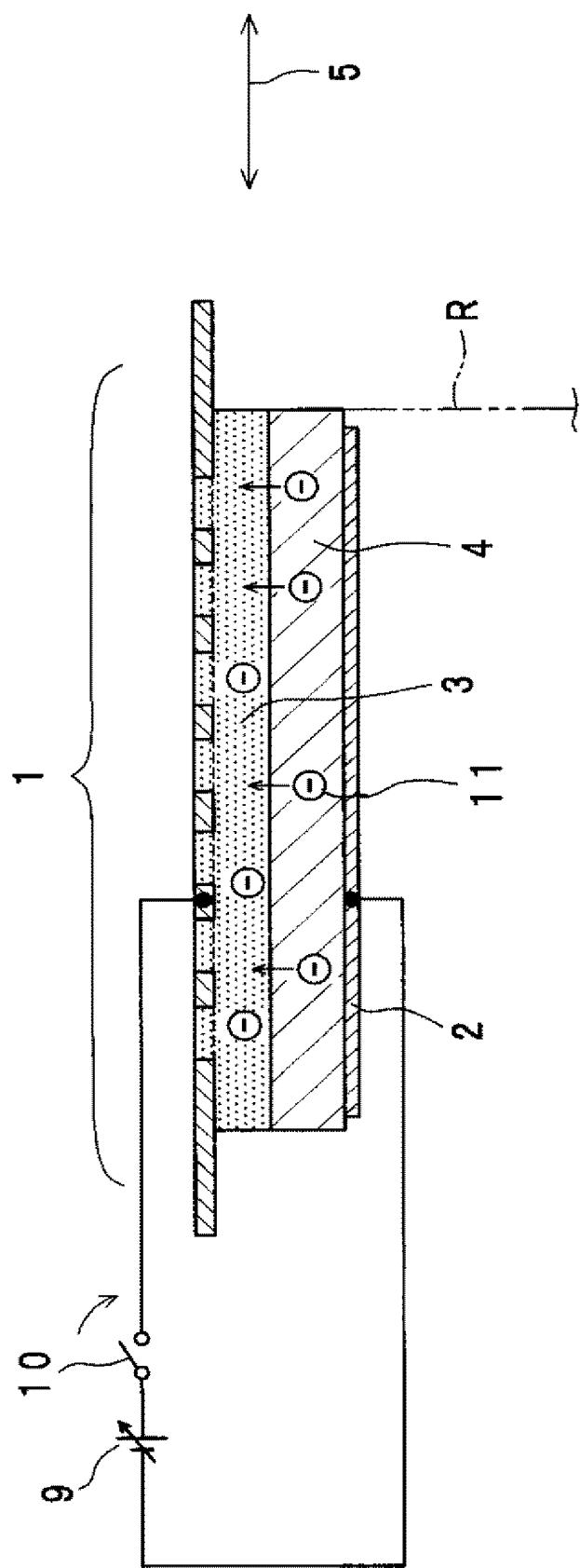
[図1C]



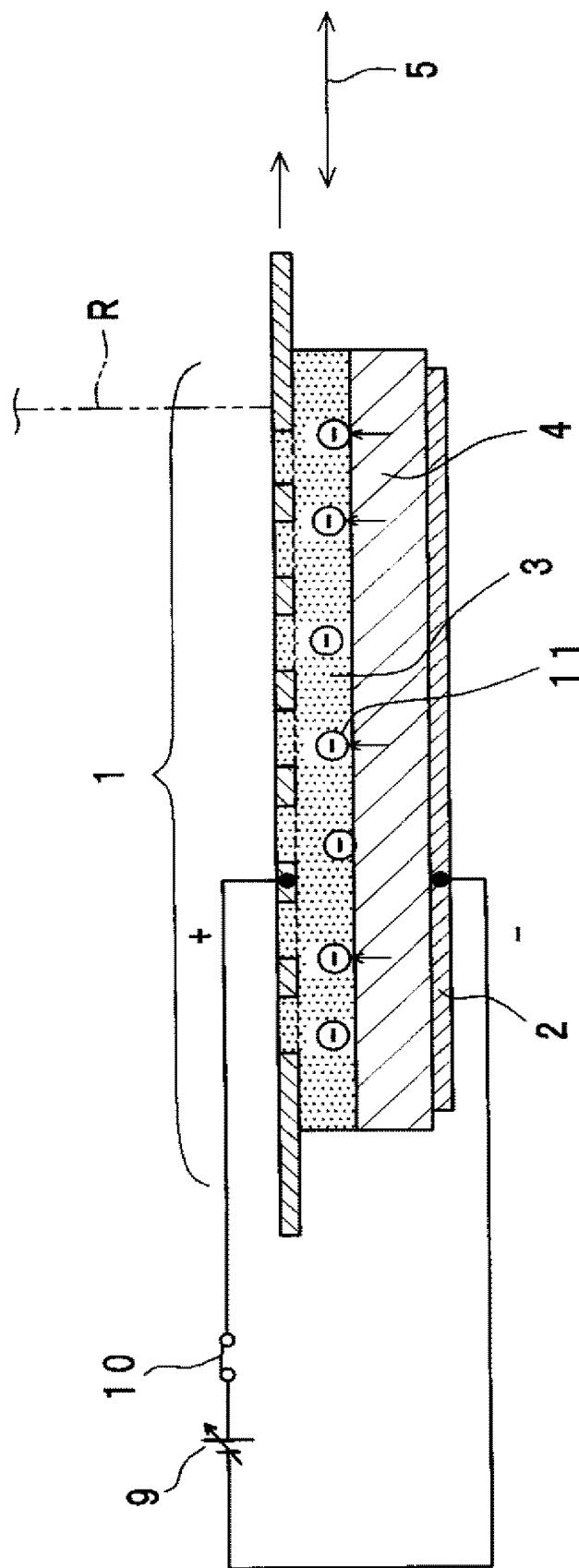
[図1D]



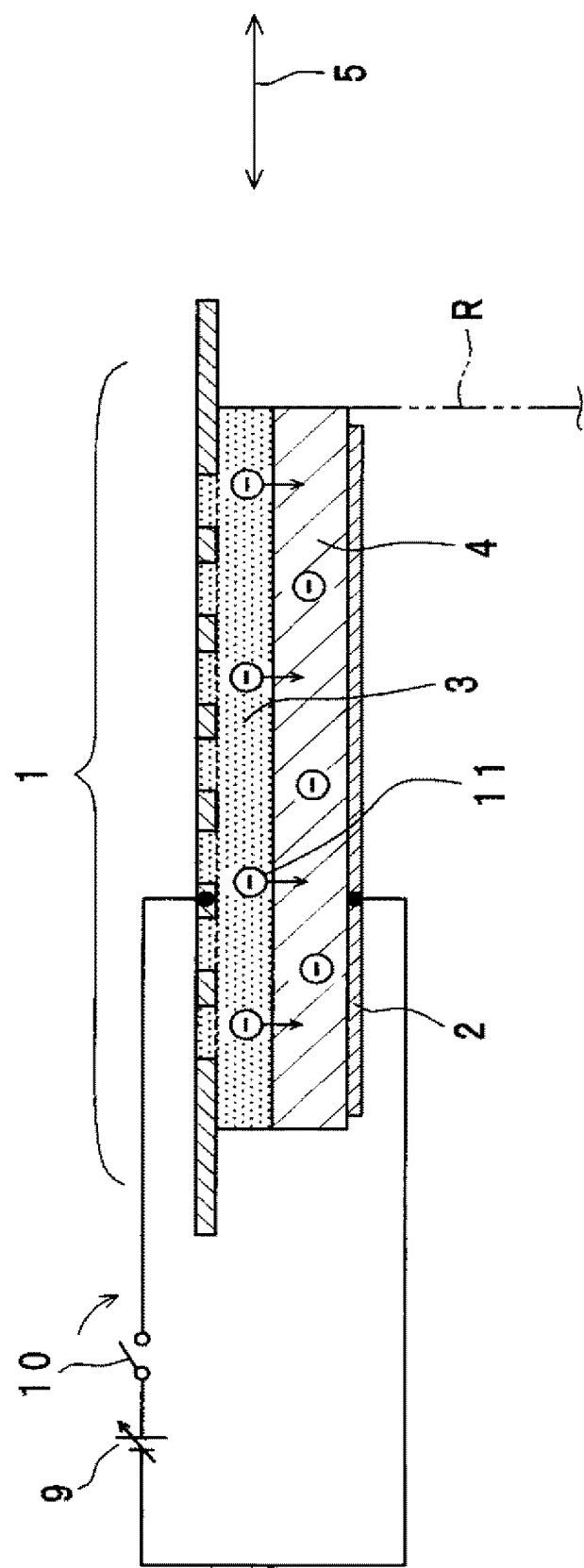
[図2A]



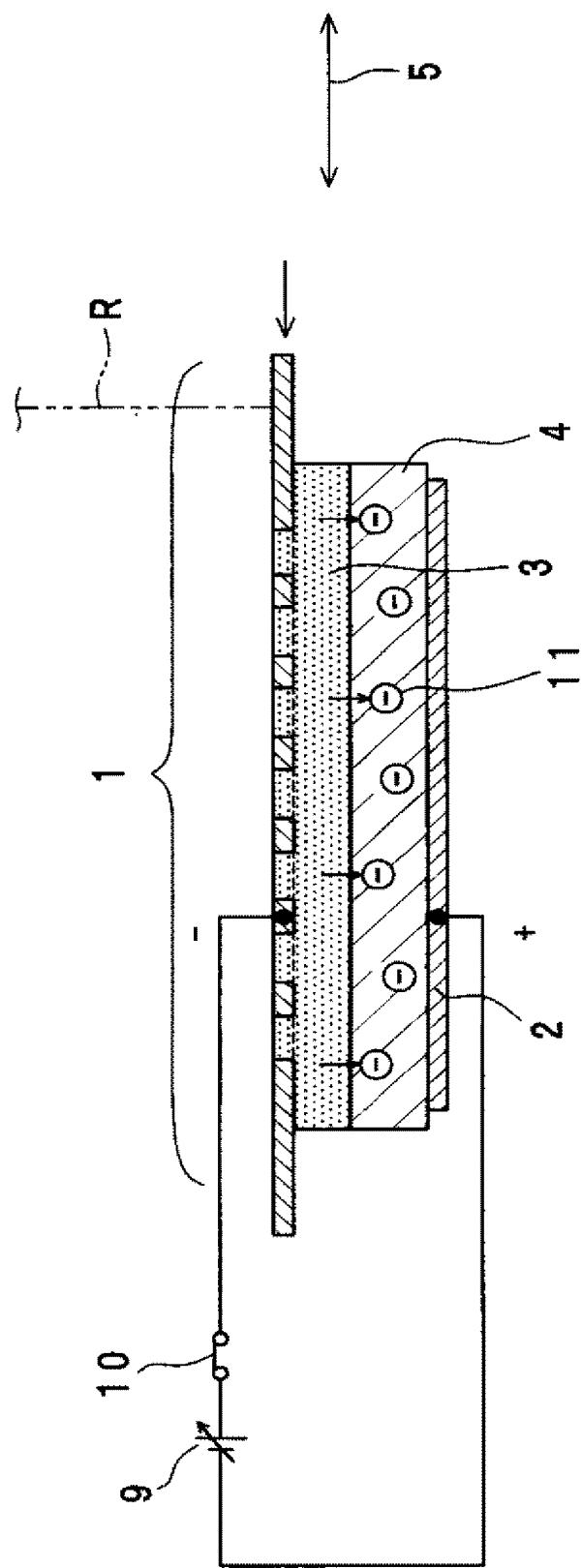
[図2B]



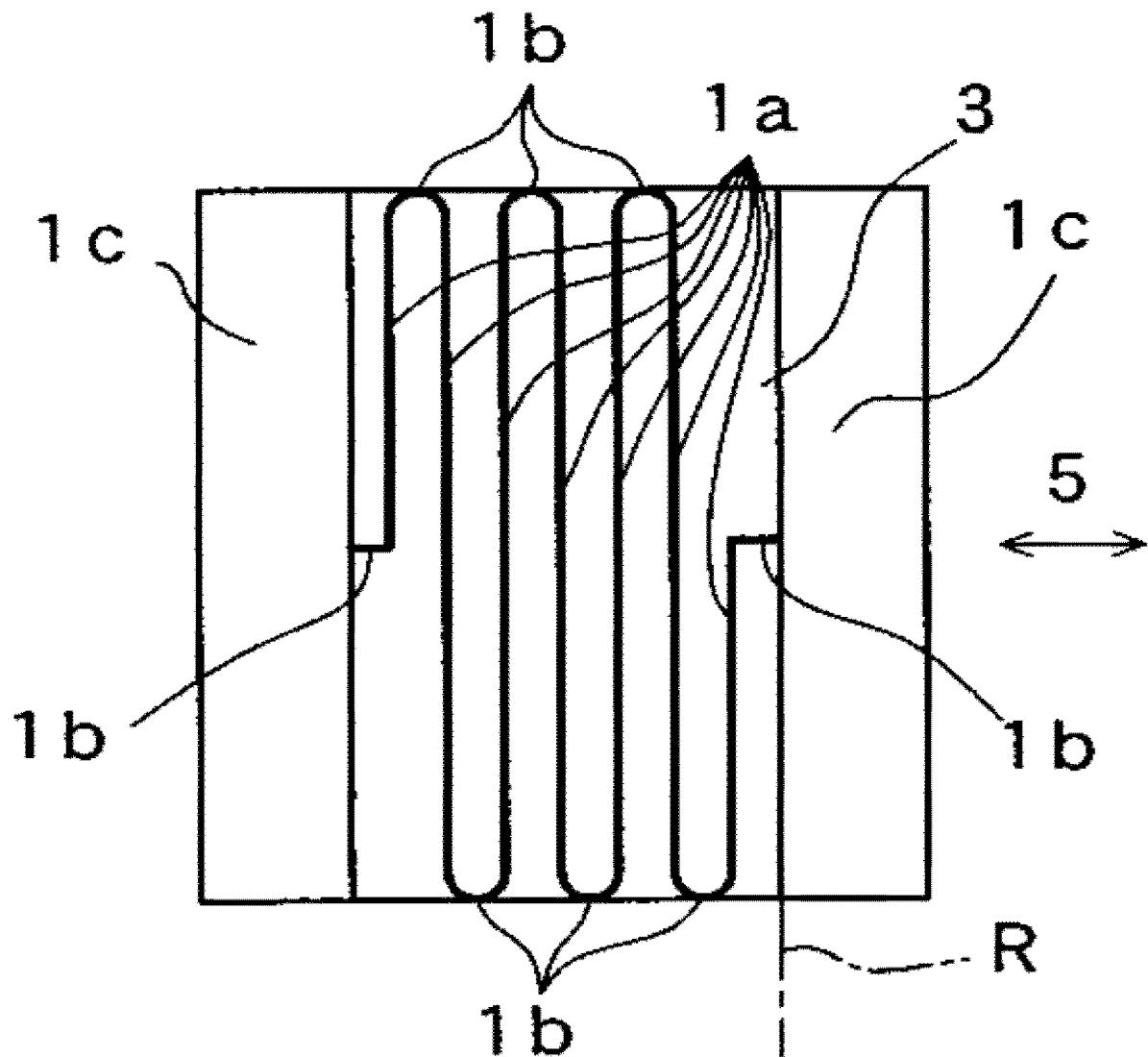
[図2C]



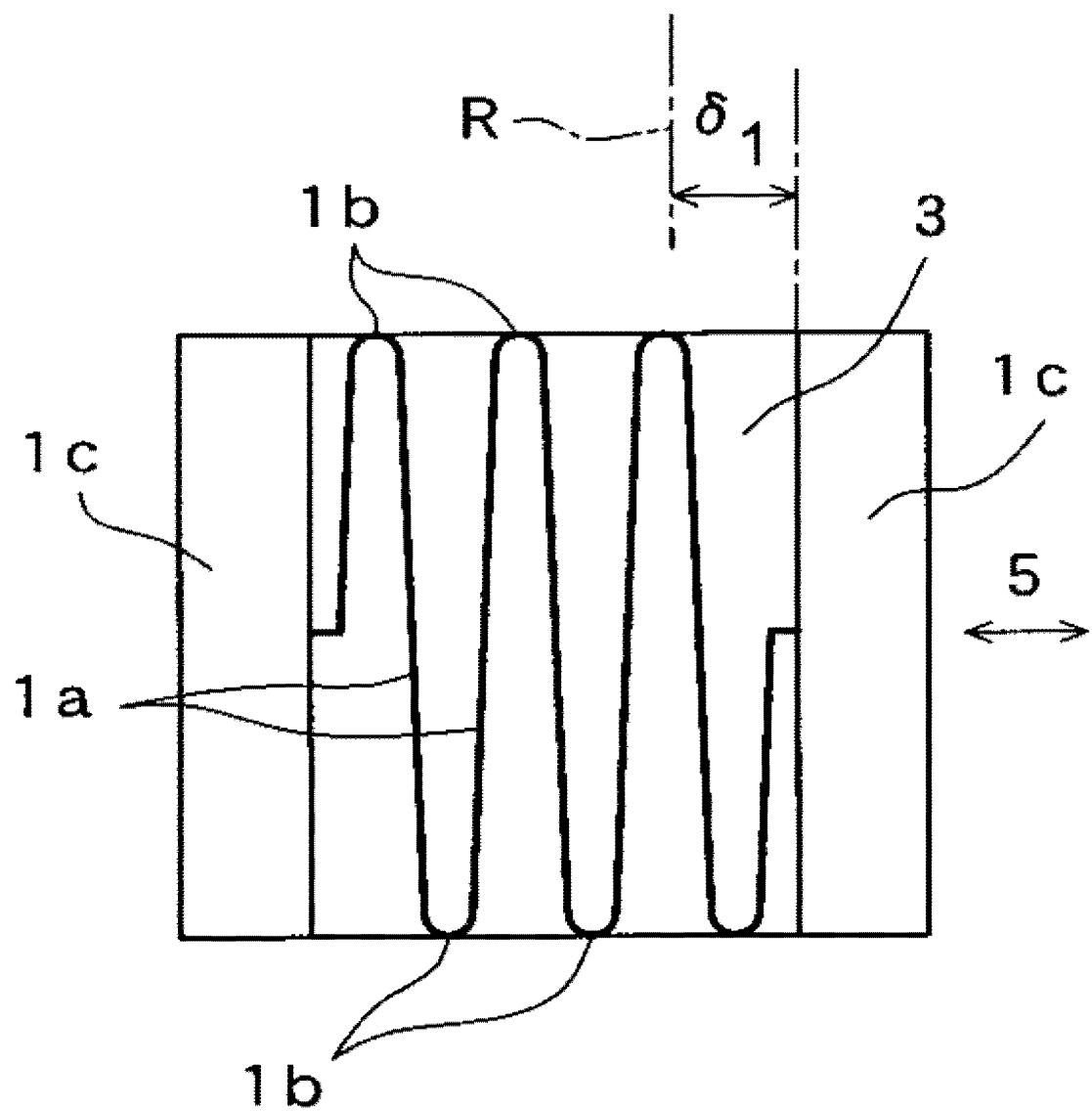
[図2D]



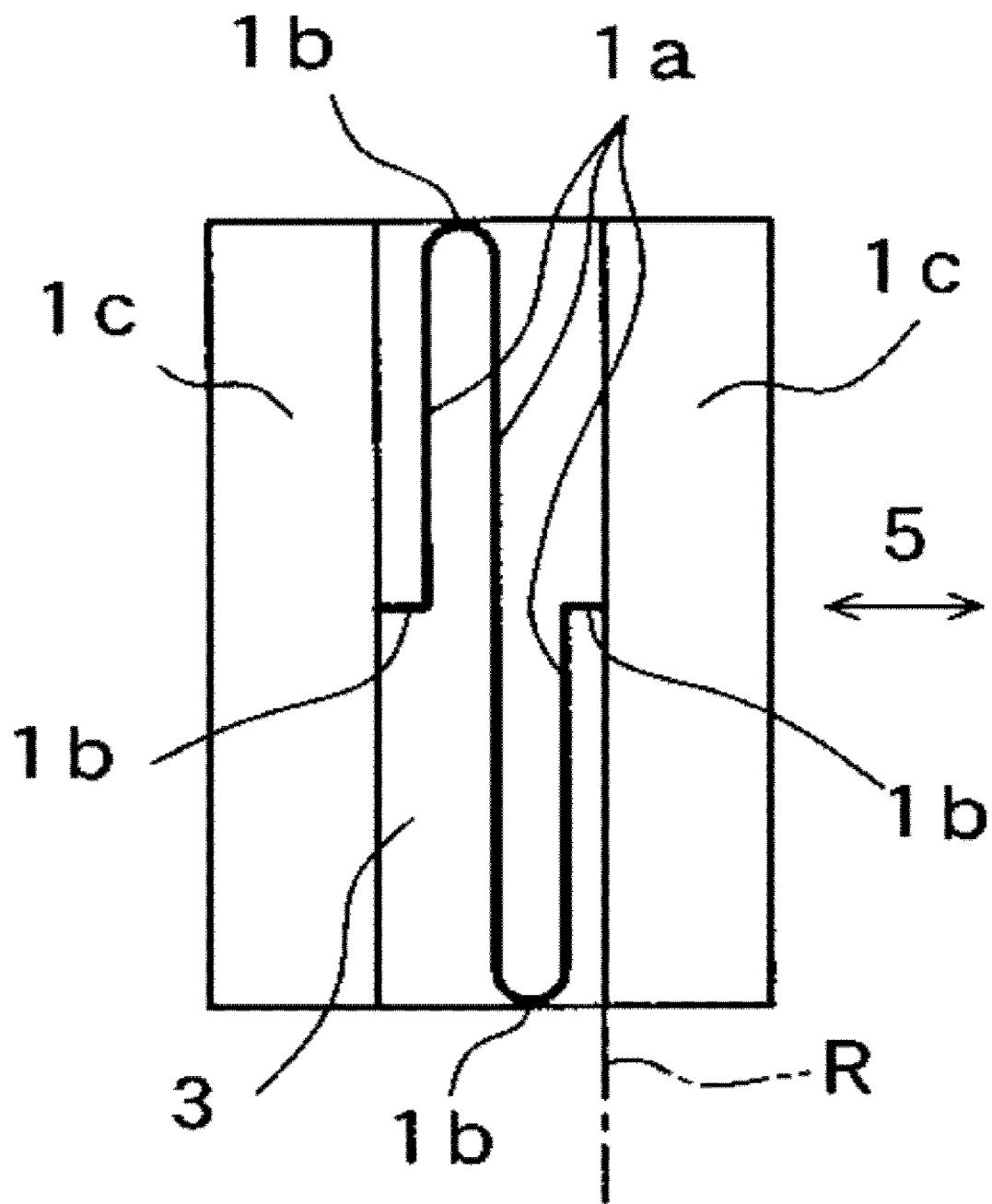
[図3A]



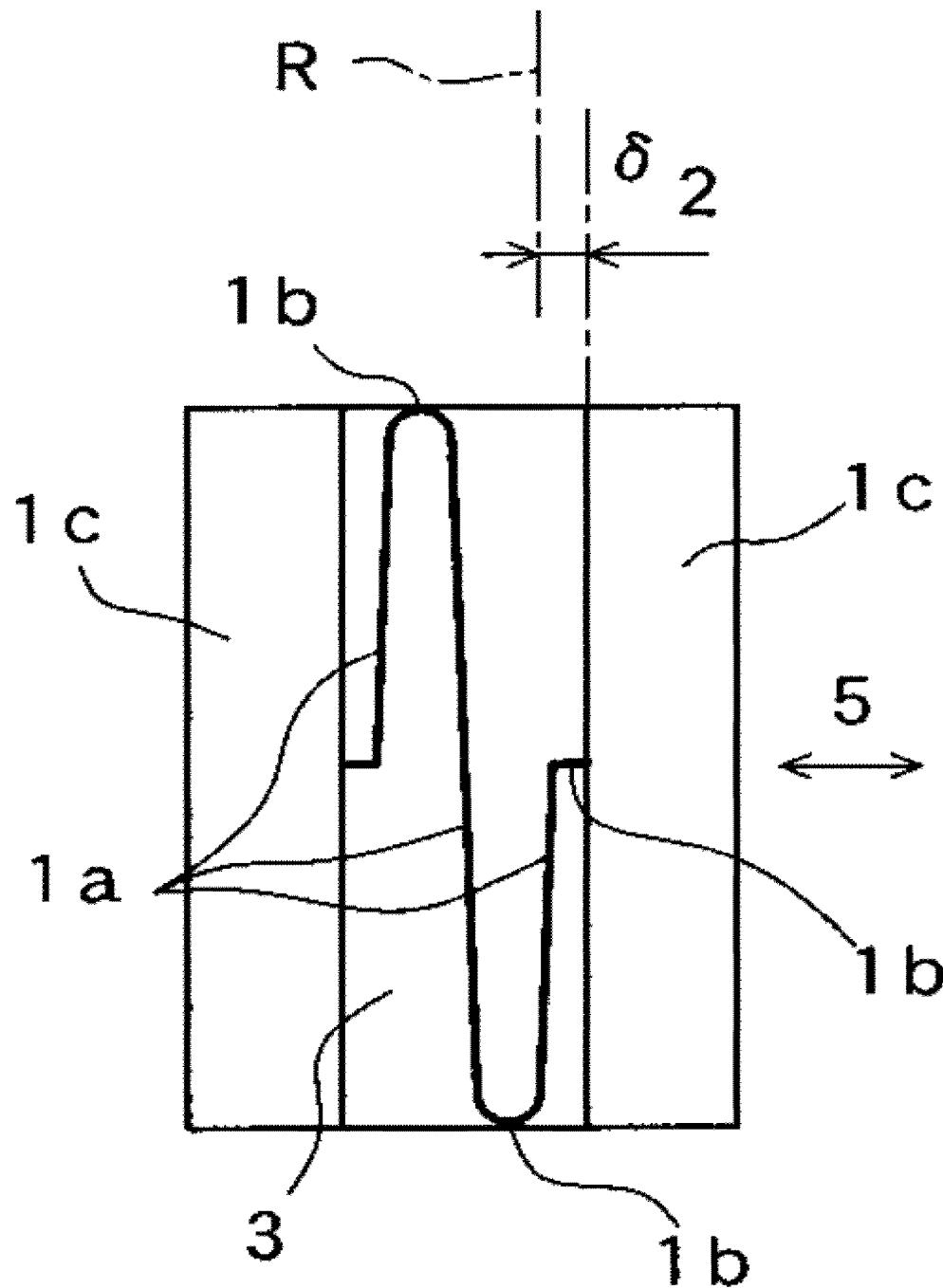
[図3B]



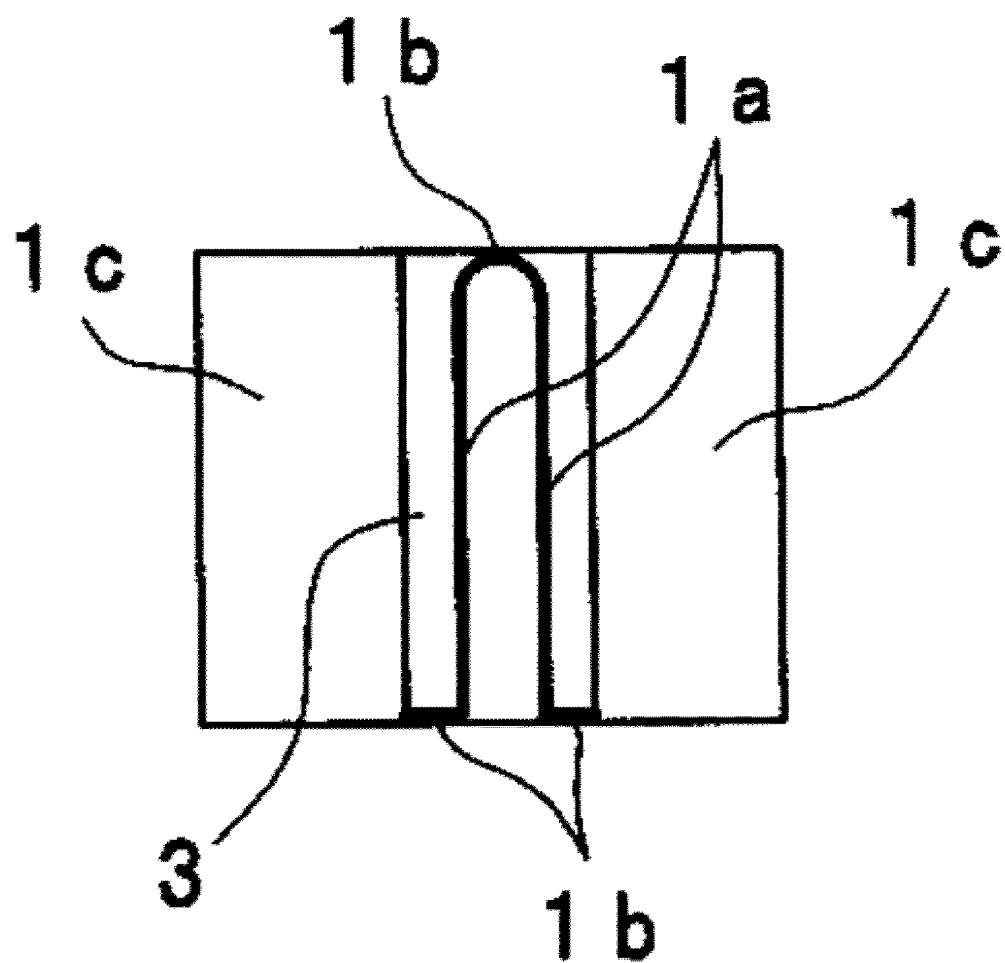
[図3C]



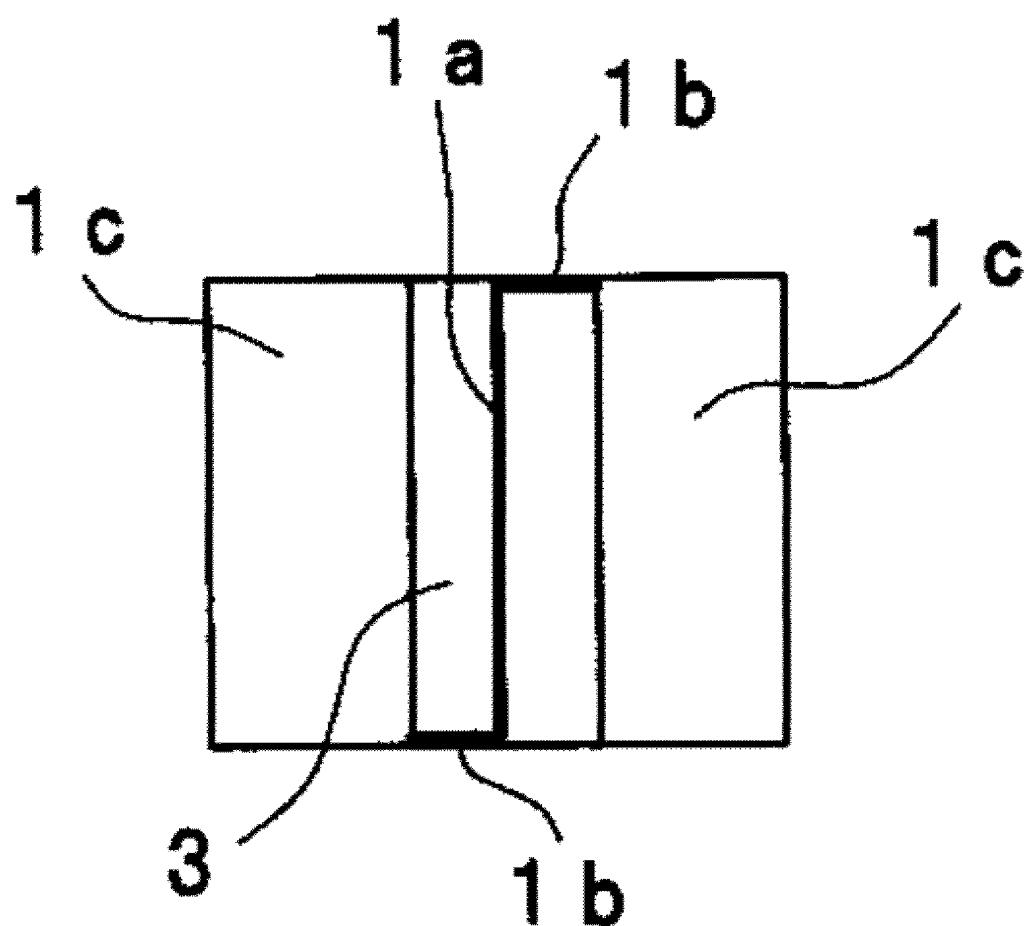
[図3D]



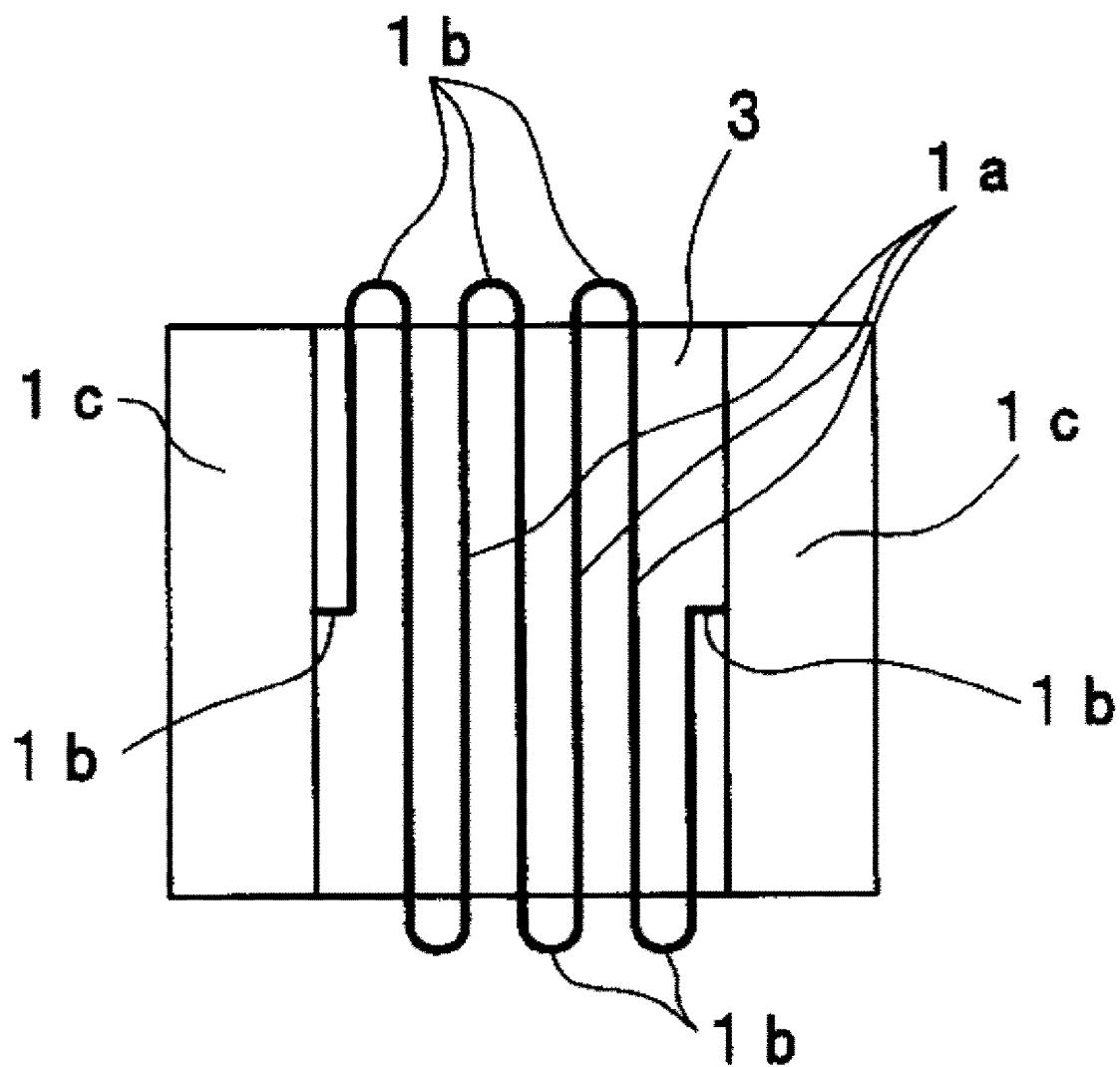
[図3E]



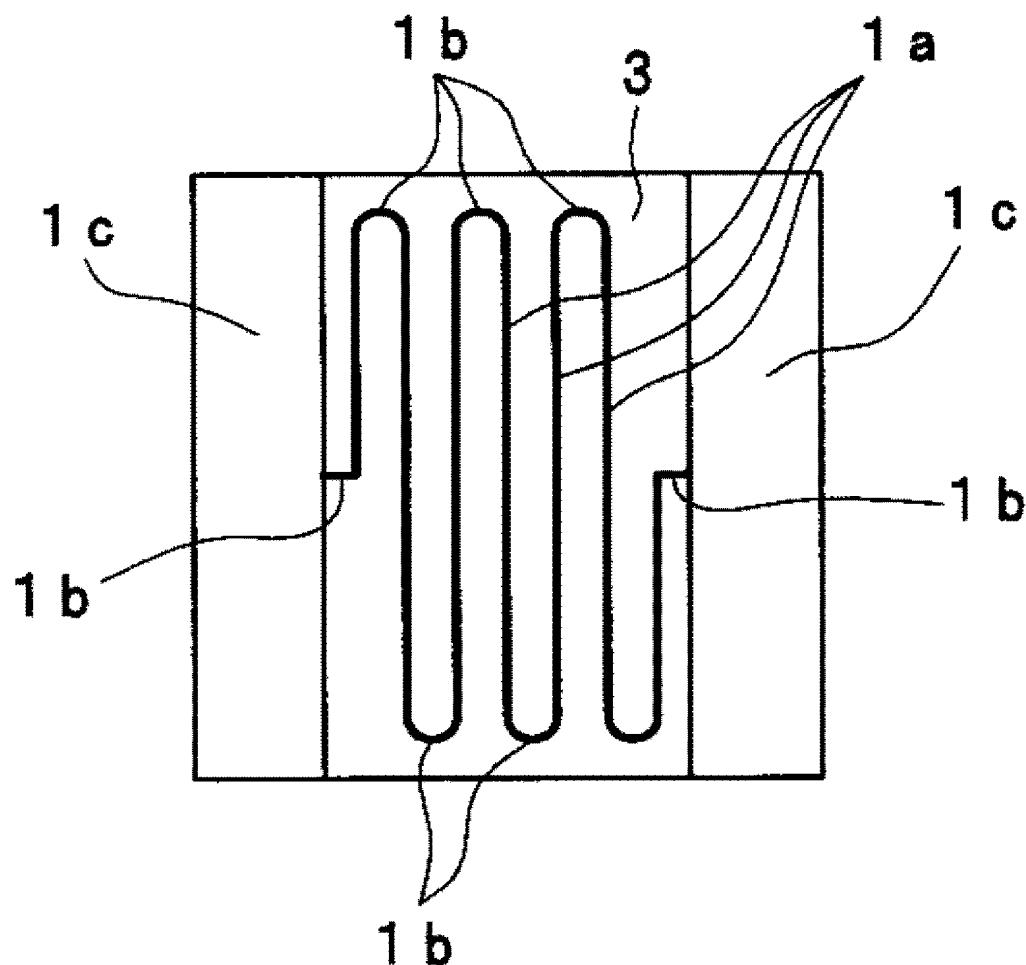
[図3F]



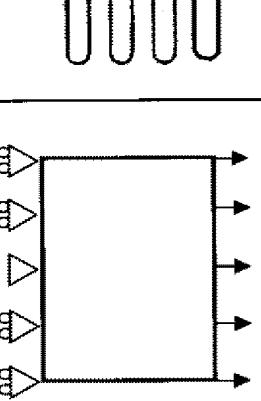
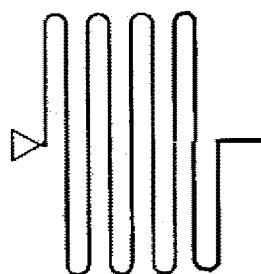
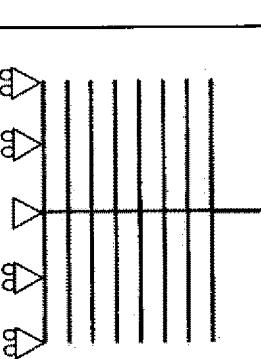
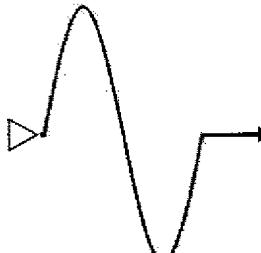
[図3G]



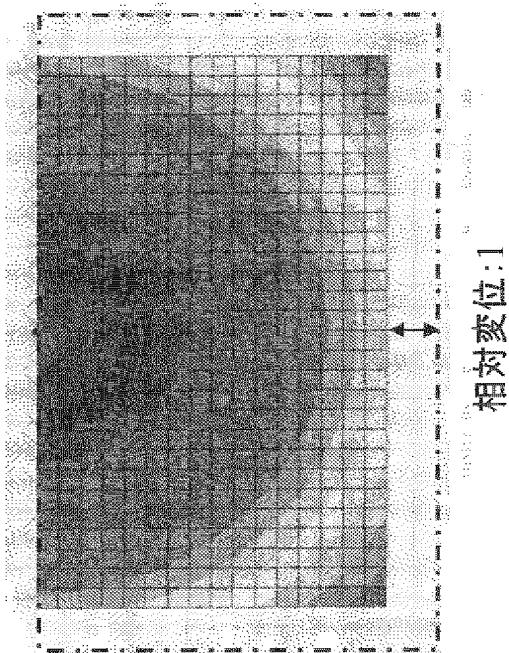
[図3H]



[図4]

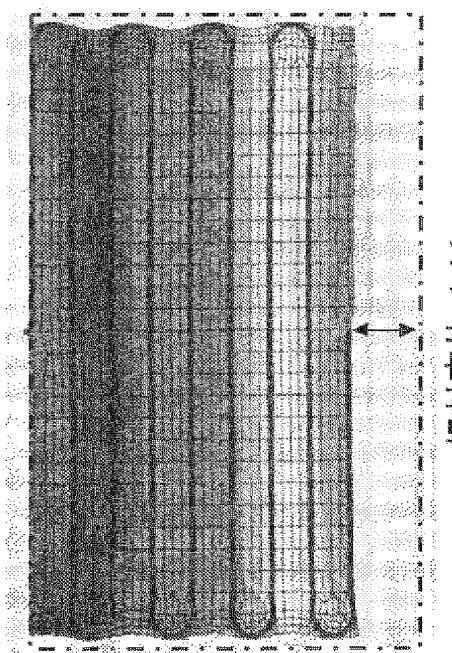
電極形状	(a)平板(べた形状)	(b)第1実施形態	(c)連結部を長手方向に連ねた場合	(d)波形
電極構成図				
計算前提値	寸法 幅:14mm、長さ:8mm 荷重(分布荷重): Total Load=1mN 弾性率: $E=0.072 \times 10^{12} \text{N/m}^2$ 板厚:0.010mm	寸法 幅:14mm、長さ:8mm 線の幅:0.1mm、ピッチ:1mm 荷重(集中荷重):1mN	寸法 全体幅:14mm、全体長:8mm 線の幅:0.1mm、ピッチ:1mm 荷重(集中荷重):1mN	寸法 全体幅:14mm、全体長:8mm 線の幅:0.1mm、ピッチ:1mm 荷重(集中荷重):1mN
計算結果	変位 0.308 $\mu\text{m}$	変位 50.56mm	変位 38.6 $\mu\text{m}$	変位 3.31mm
剛性比	1	$6.1 \times 10^{-6}$	$7.9 \times 10^{-3}$	$9.31 \times 10^{-5}$
	* 平版との剛性比			

[図5A]



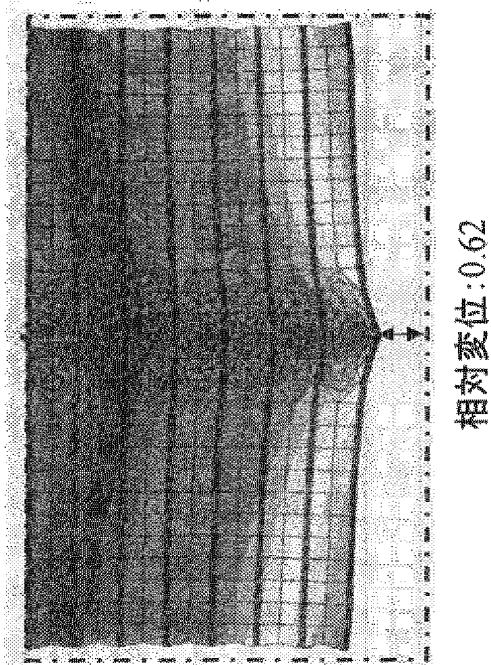
相対変位:1

[図5B]

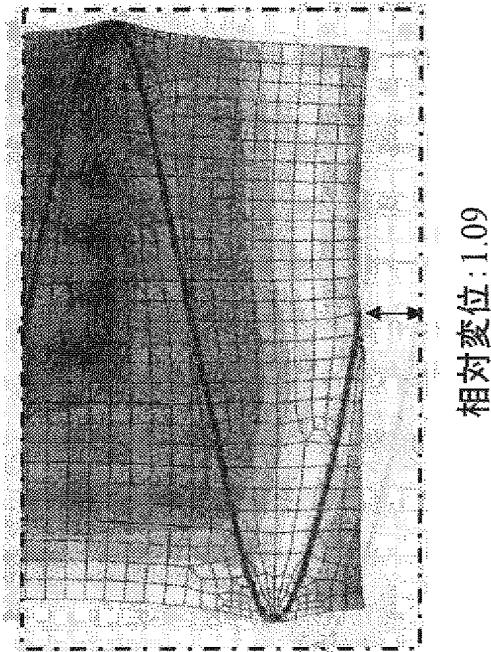


相対変位:1.16

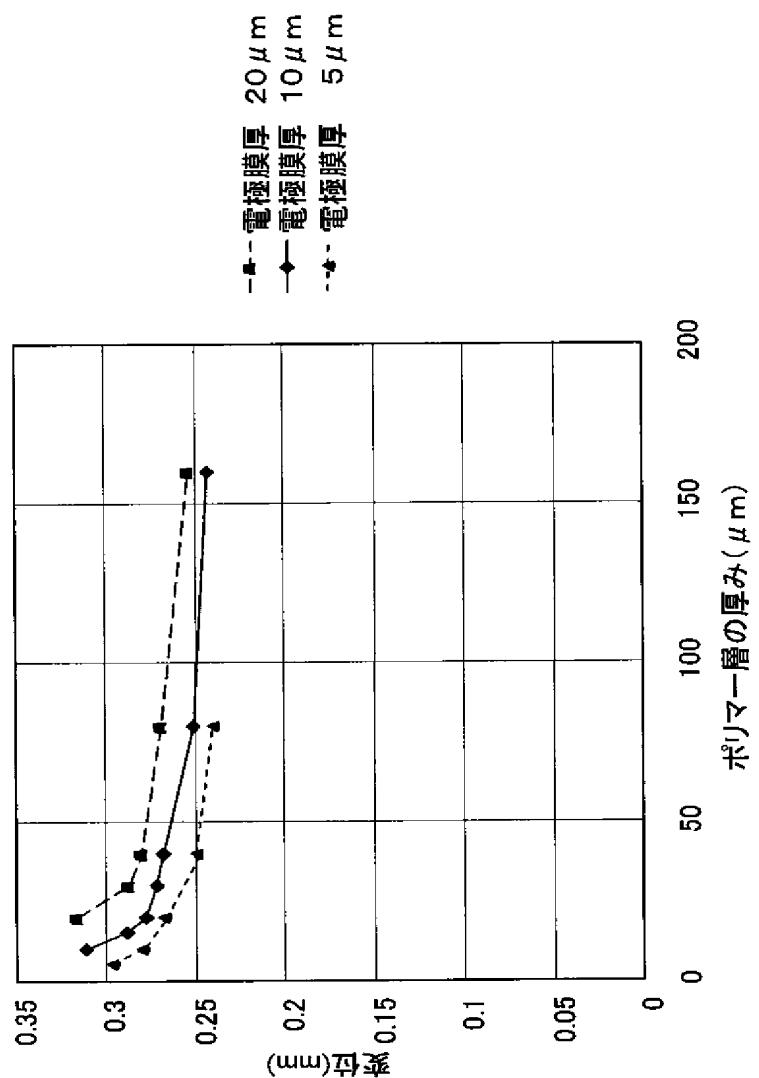
[図5C]



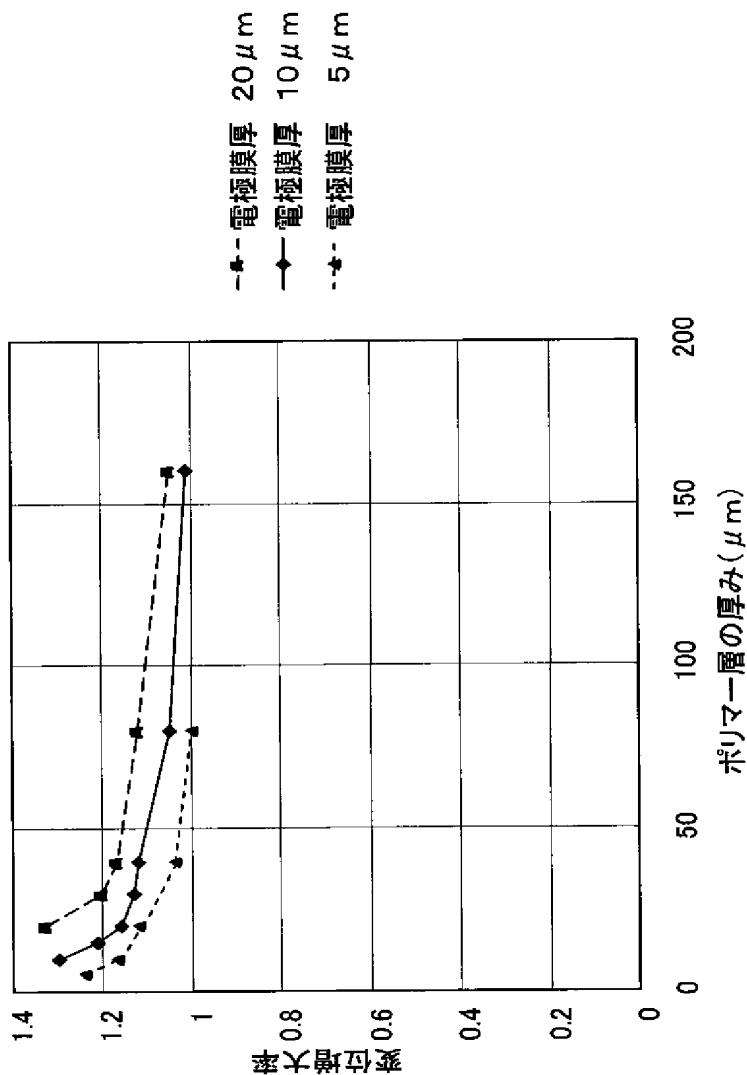
[図5D]



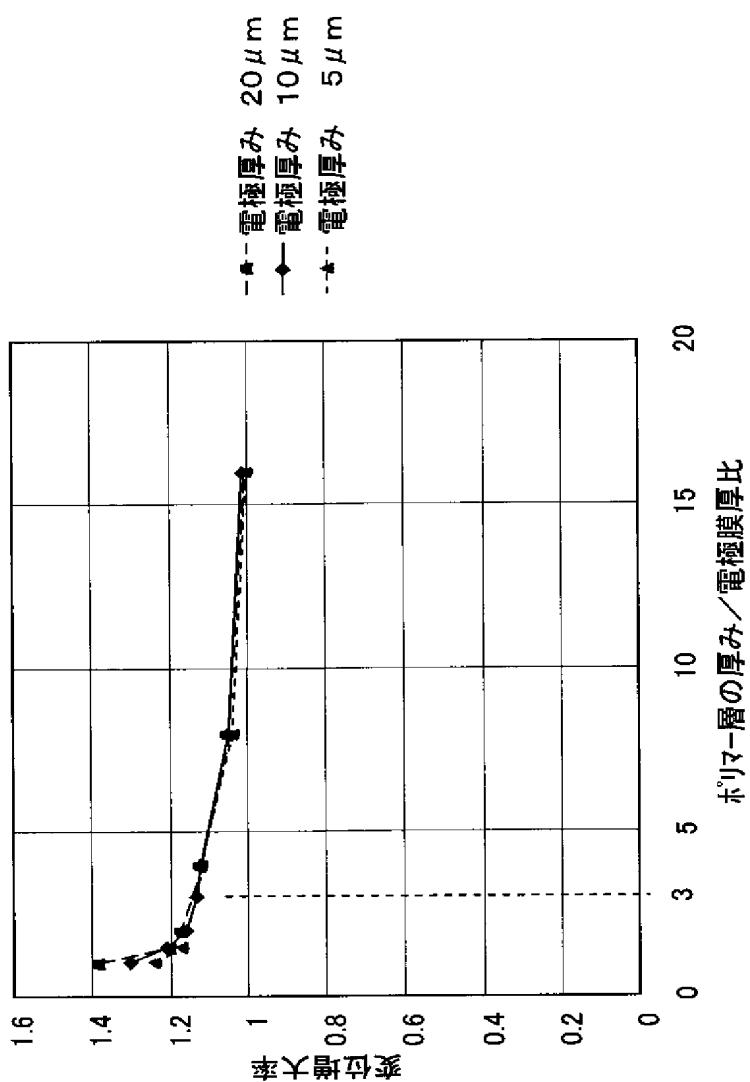
[図5E]



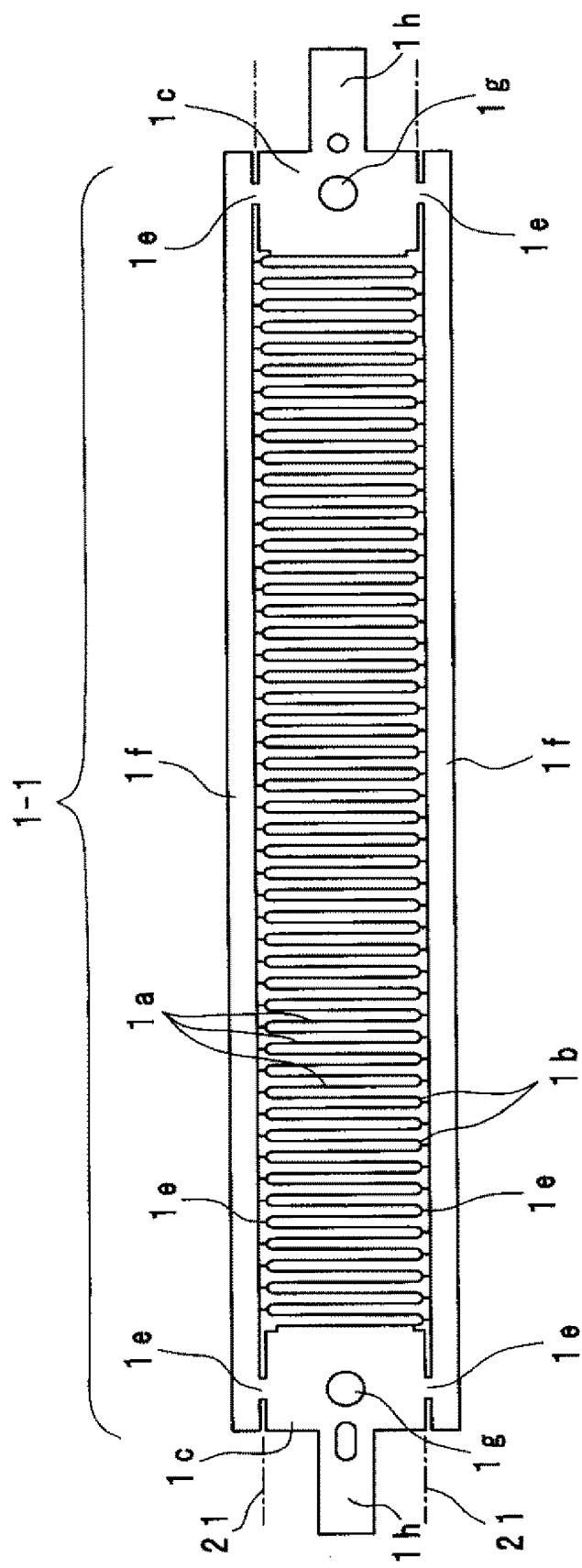
[図5F]



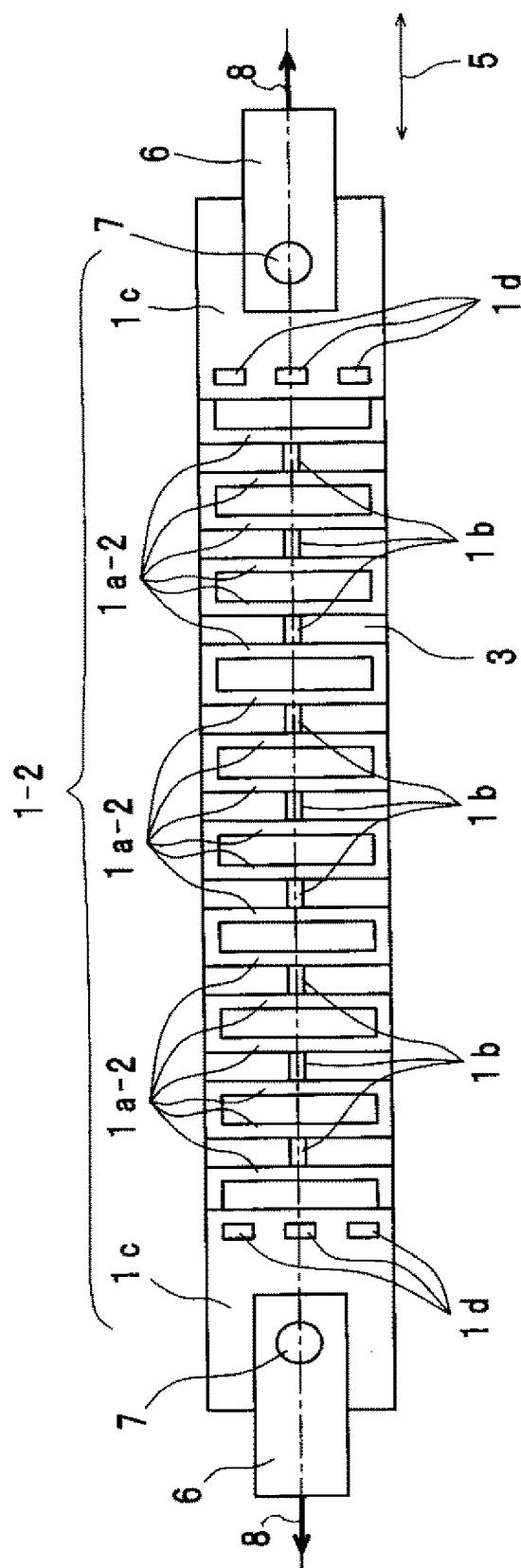
[図5G]



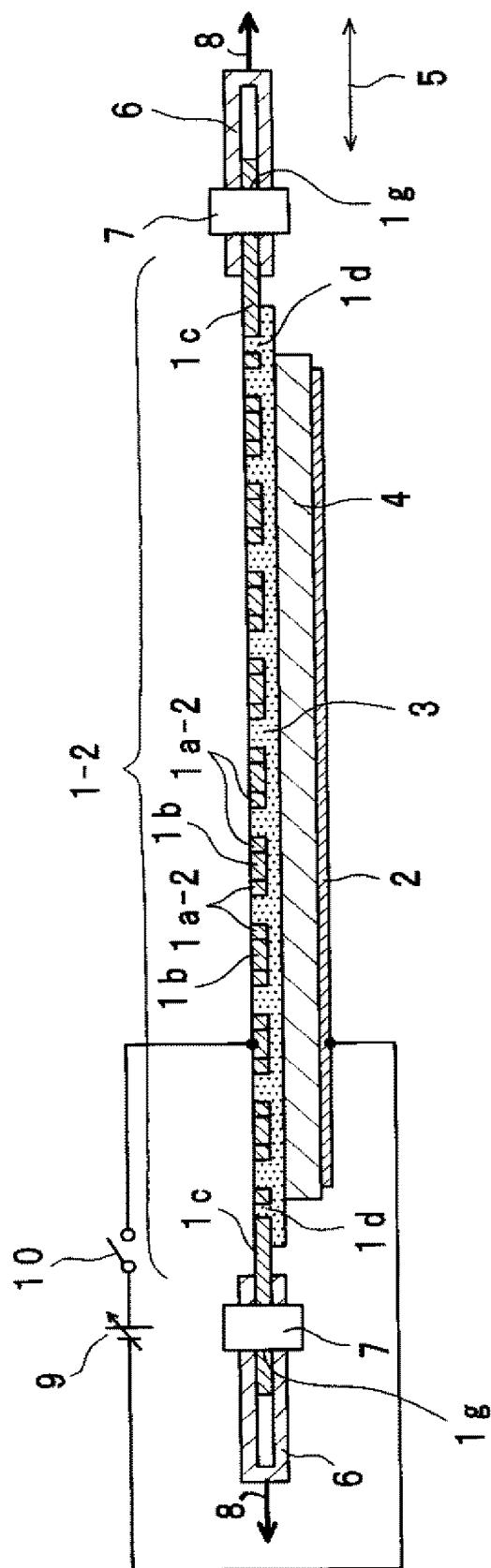
[図6]



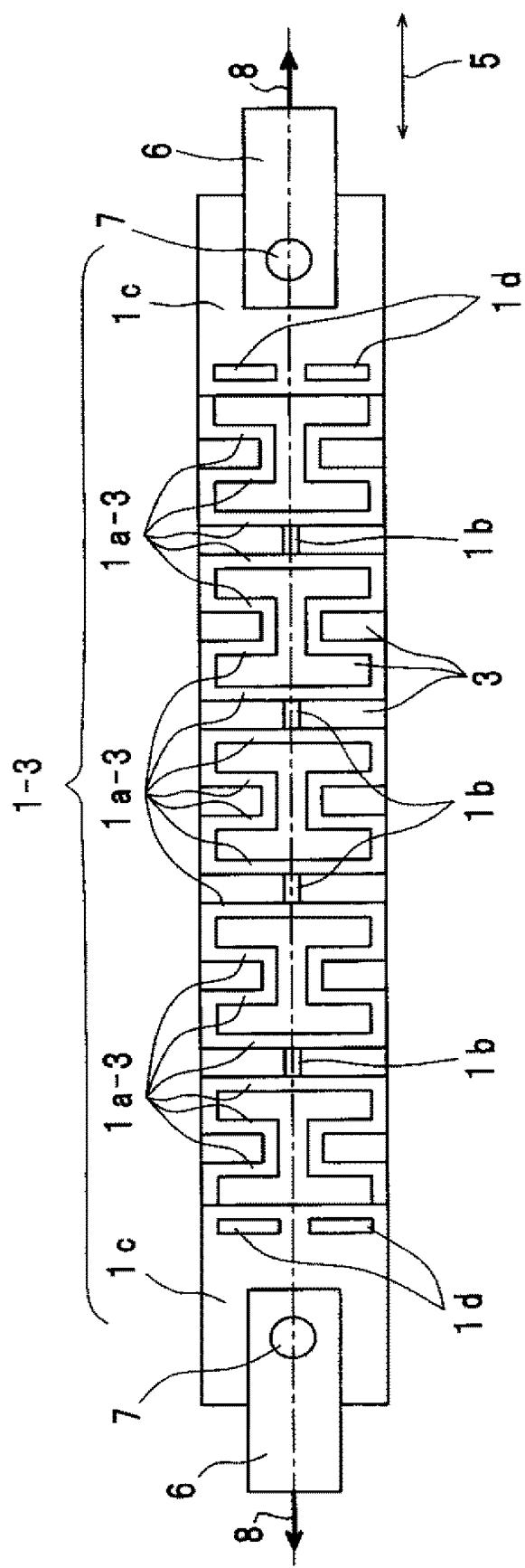
[図7A]



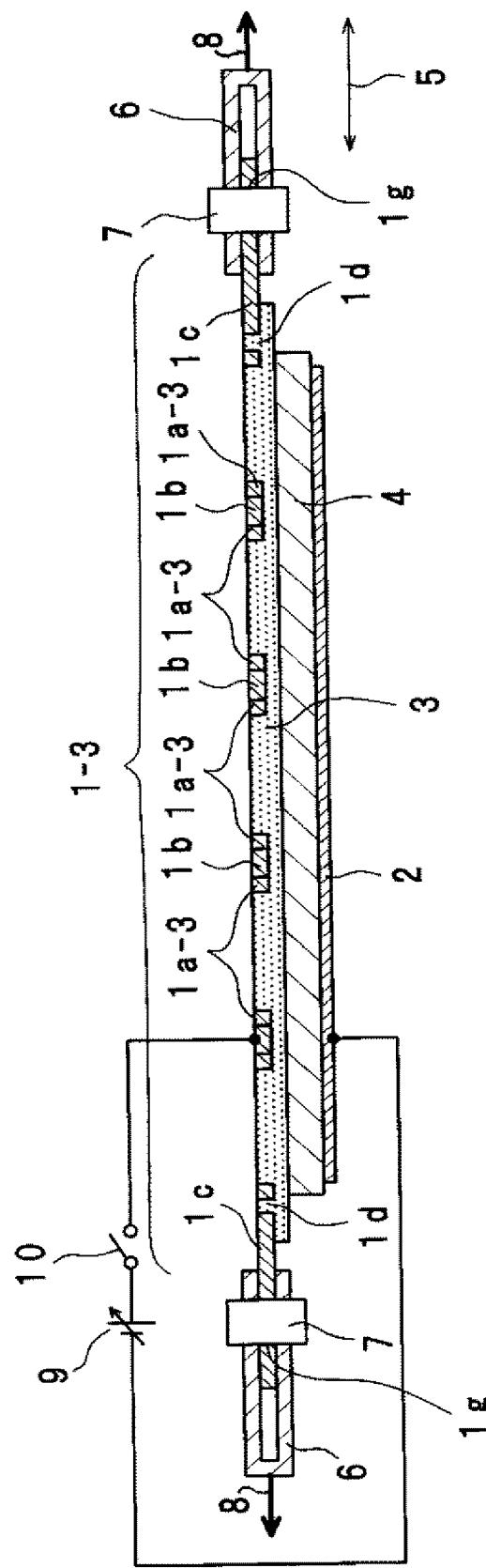
[図7B]



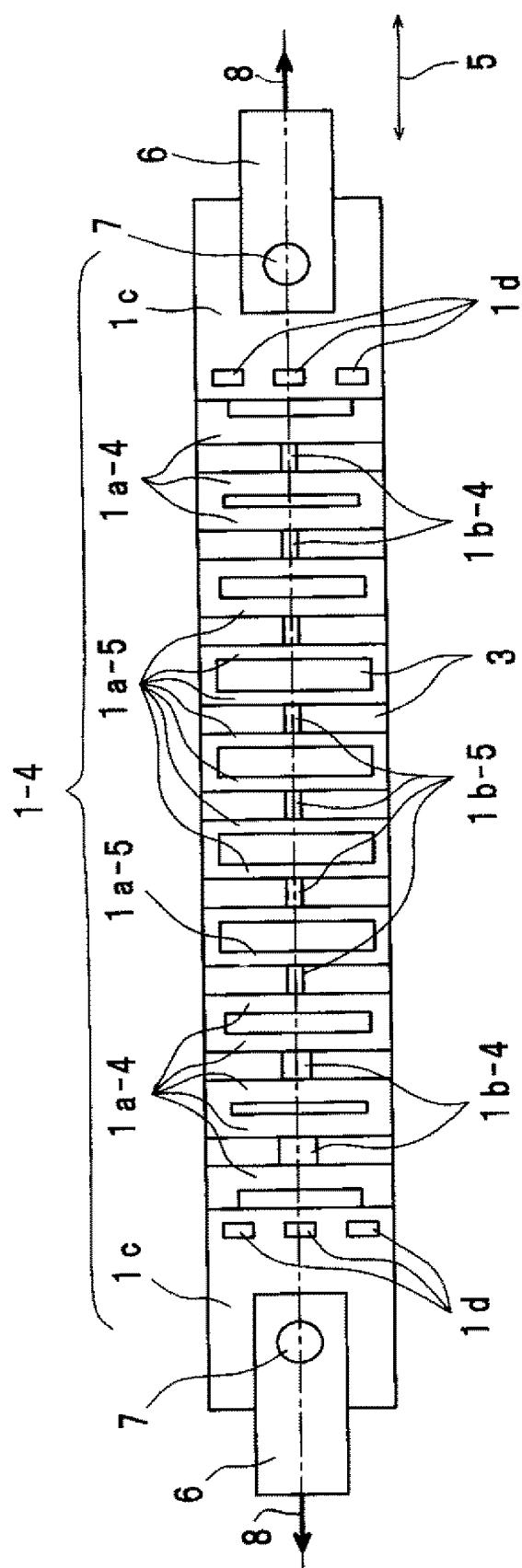
[図8A]



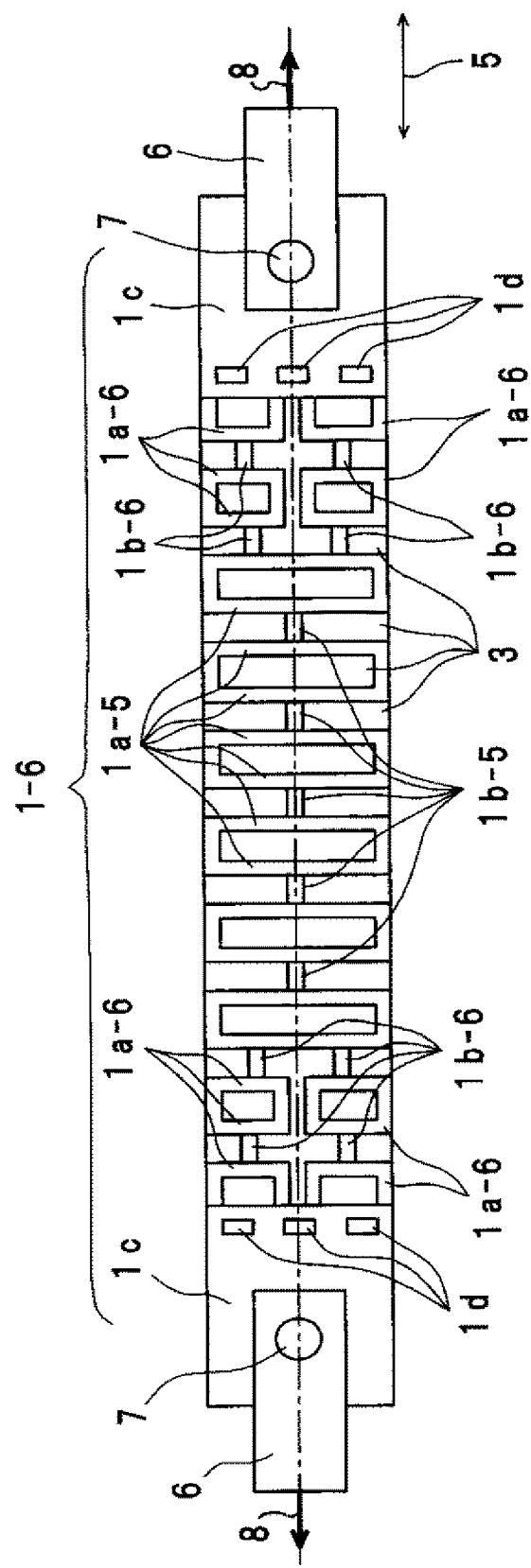
[図8B]



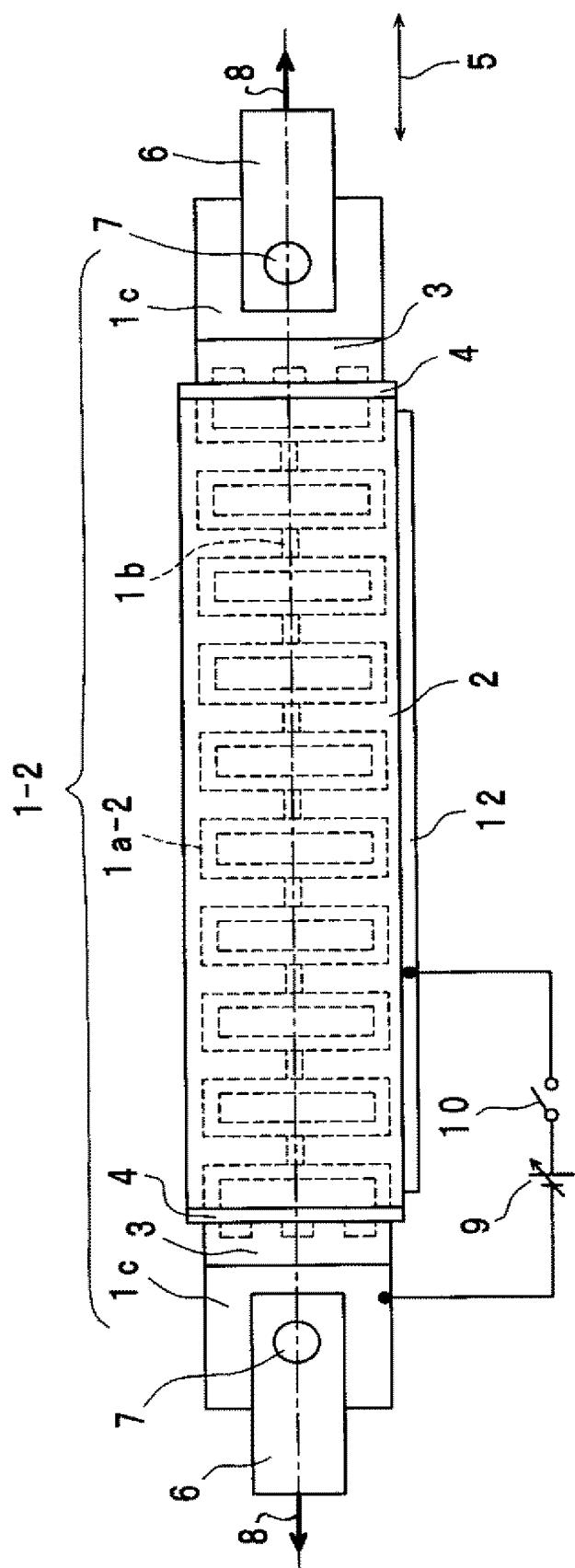
[図9A]



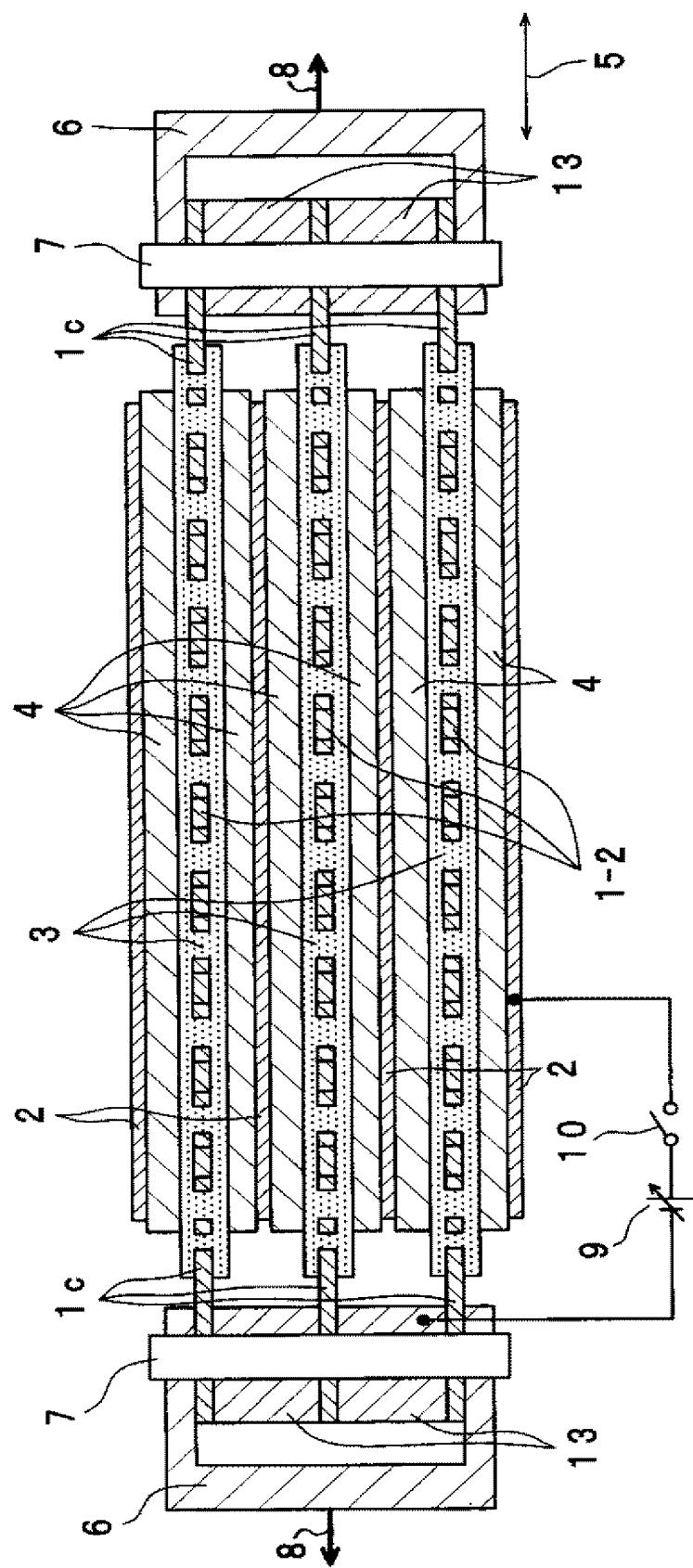
[図9B]



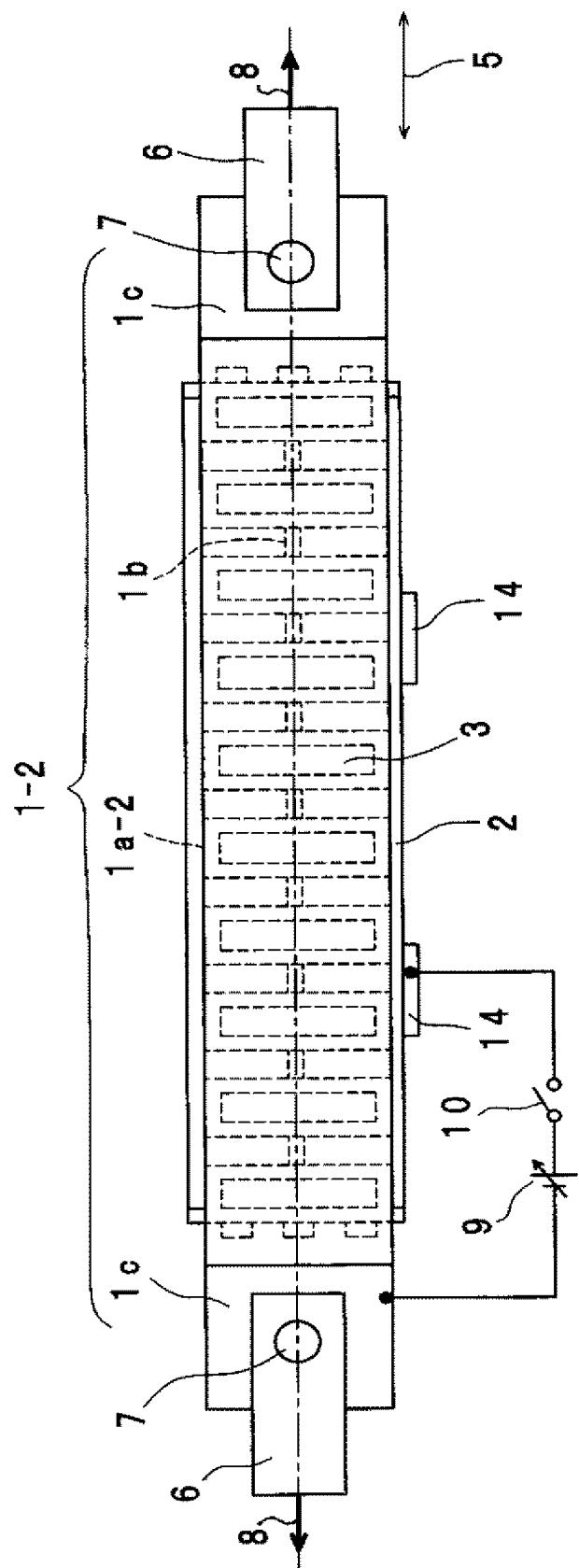
[図10A]



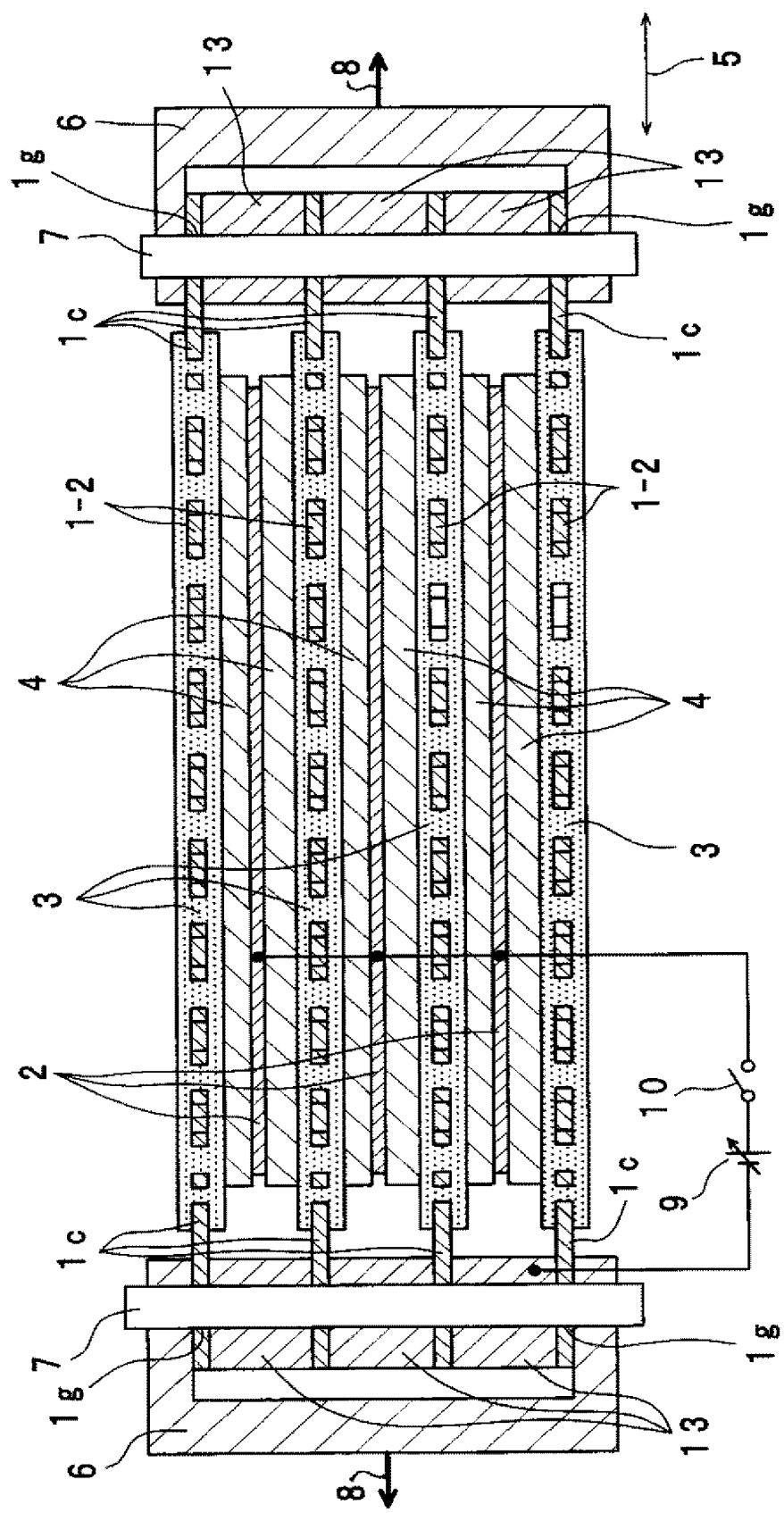
[図10B]



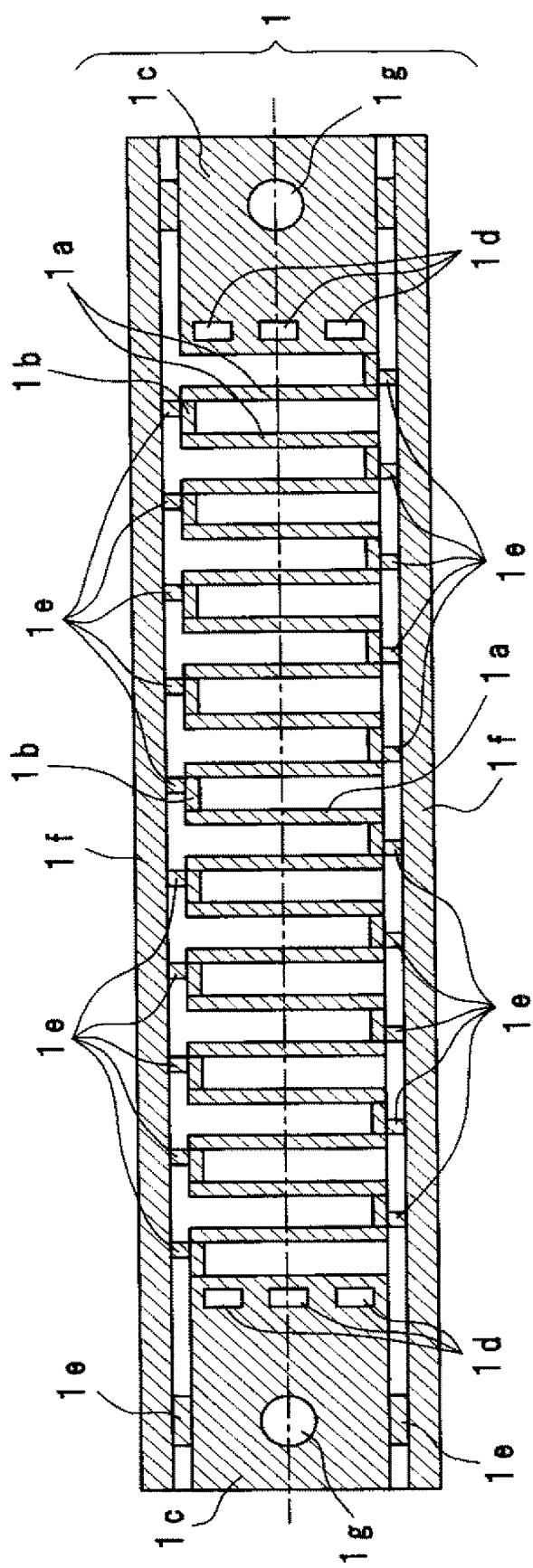
[図11A]



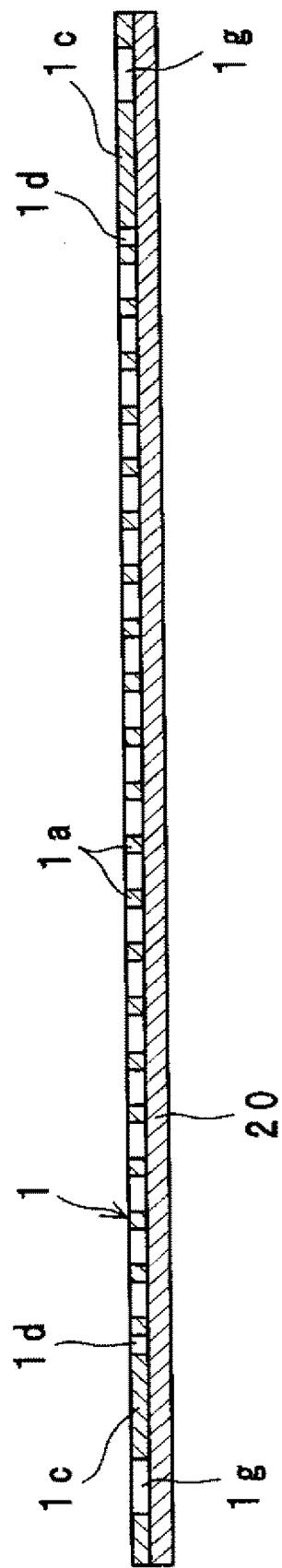
[図11B]



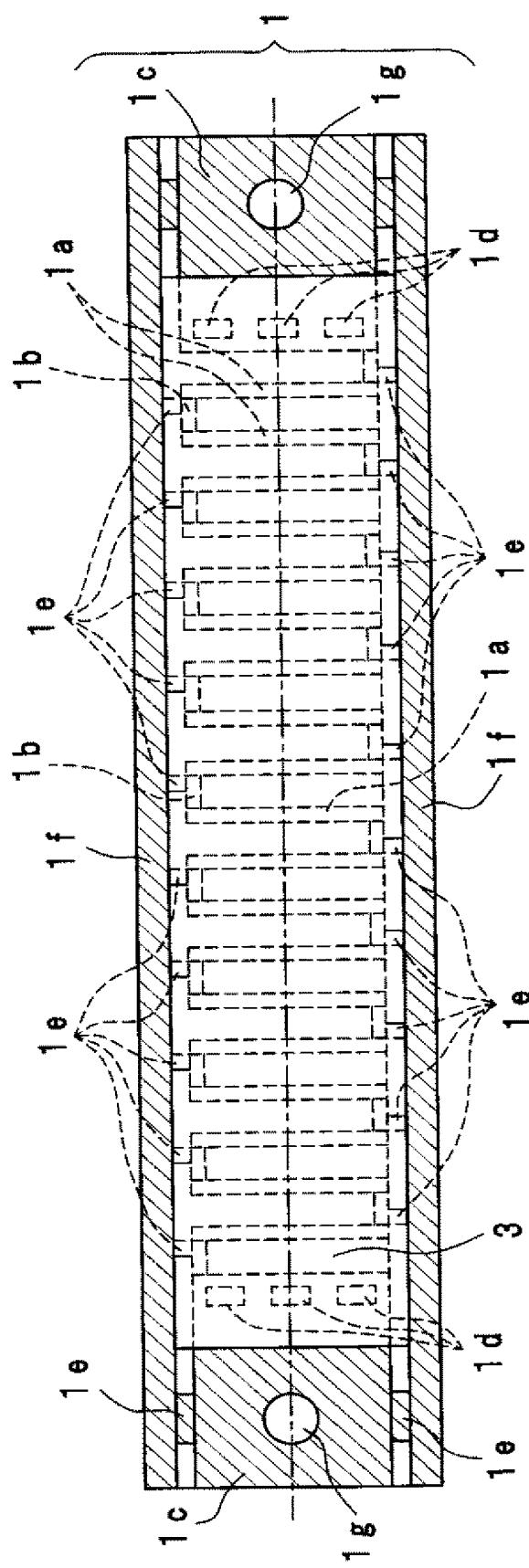
[図12A]



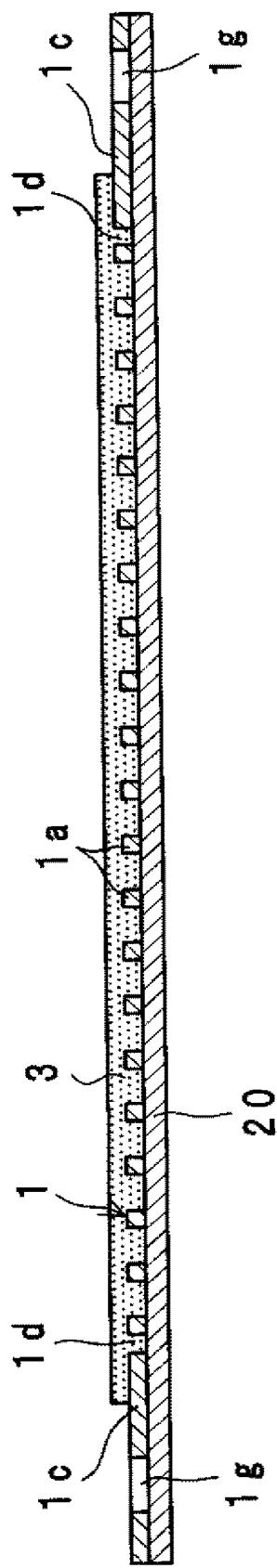
[図12B]



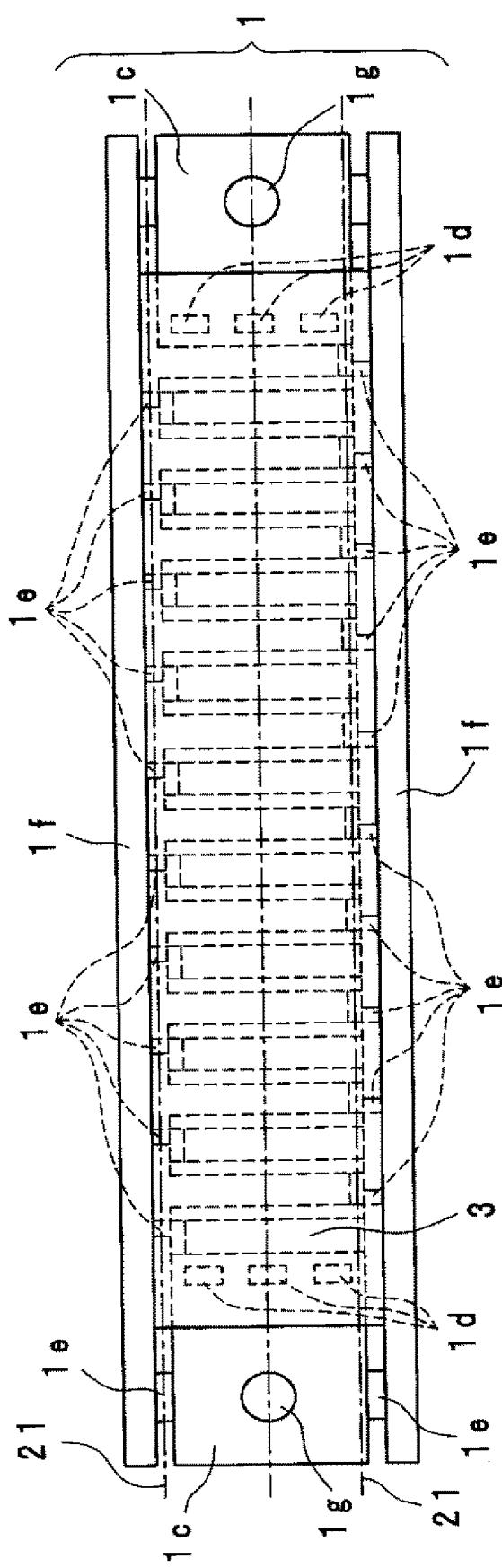
[図12C]



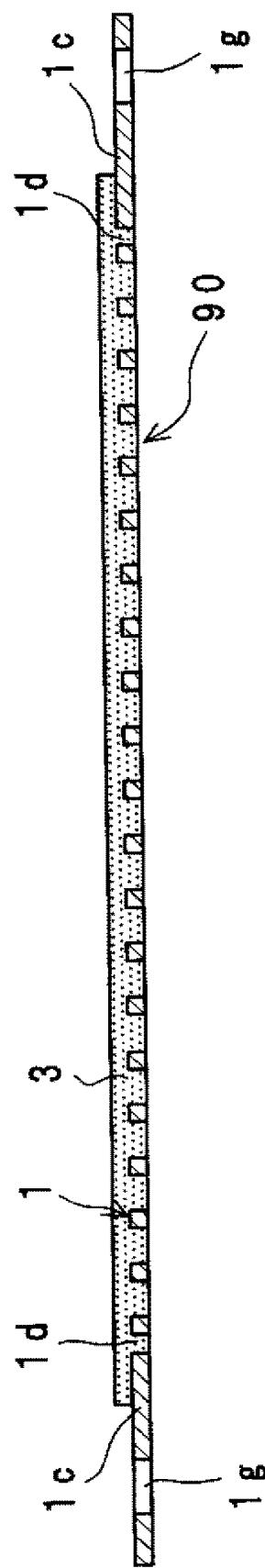
[図12D]



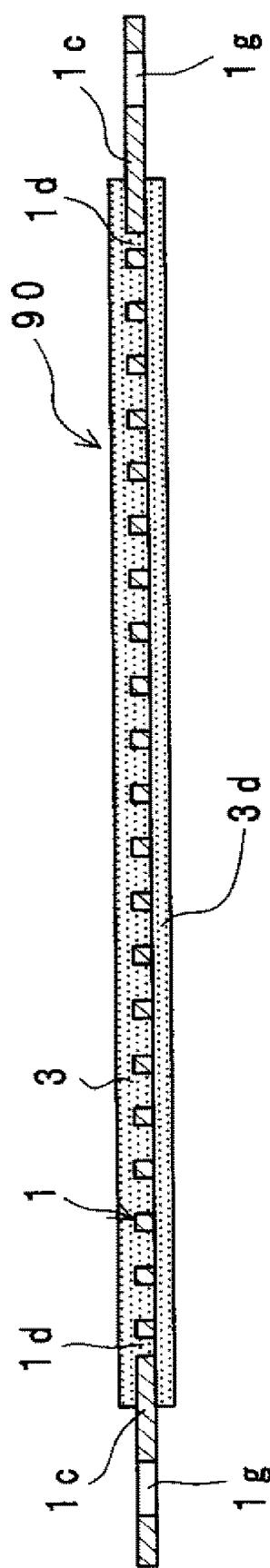
[図12E]



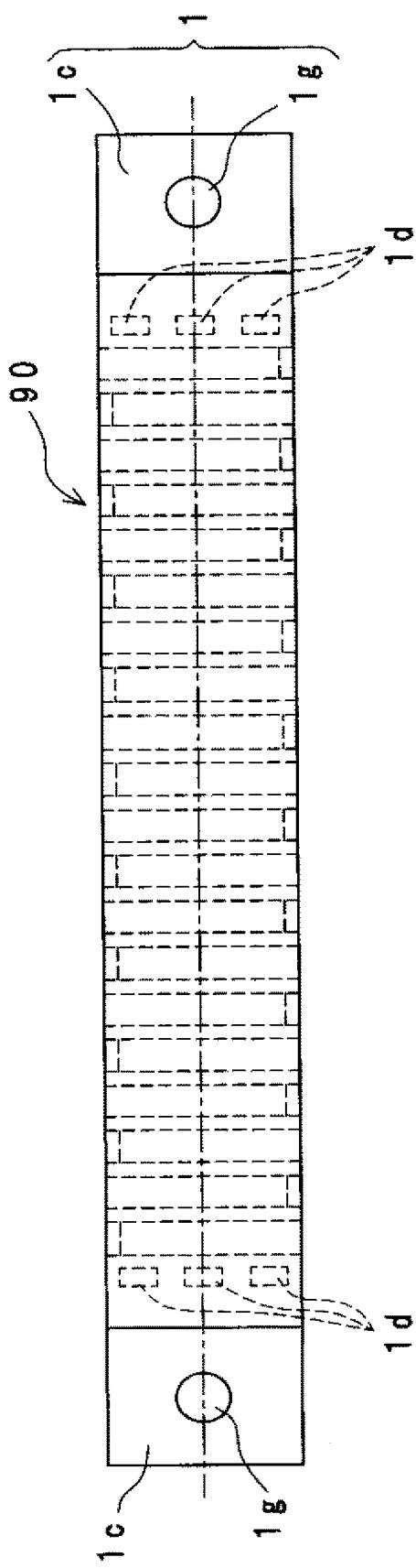
[図12F]



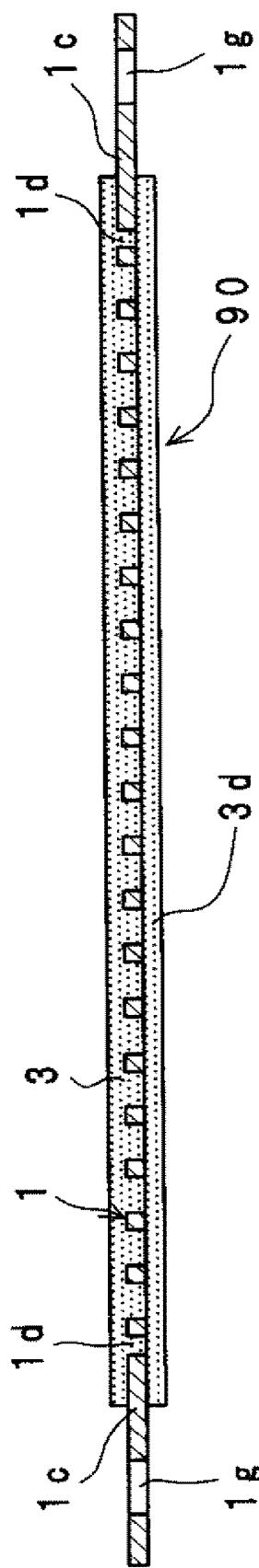
[図12G]



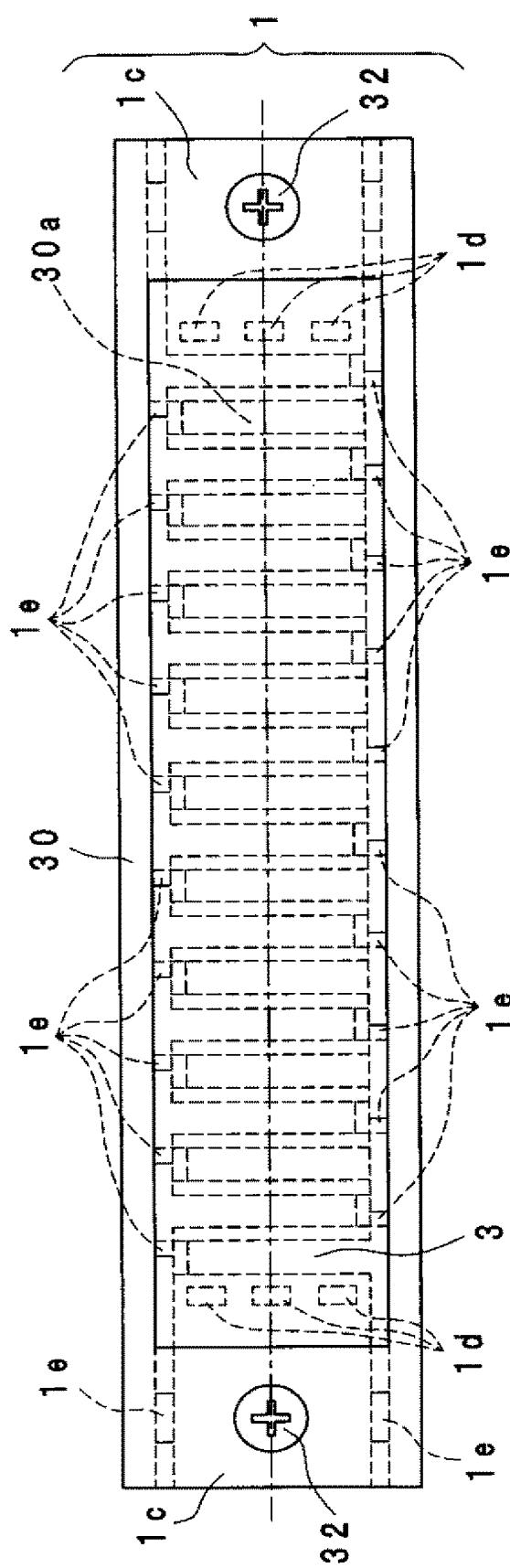
[図12H]



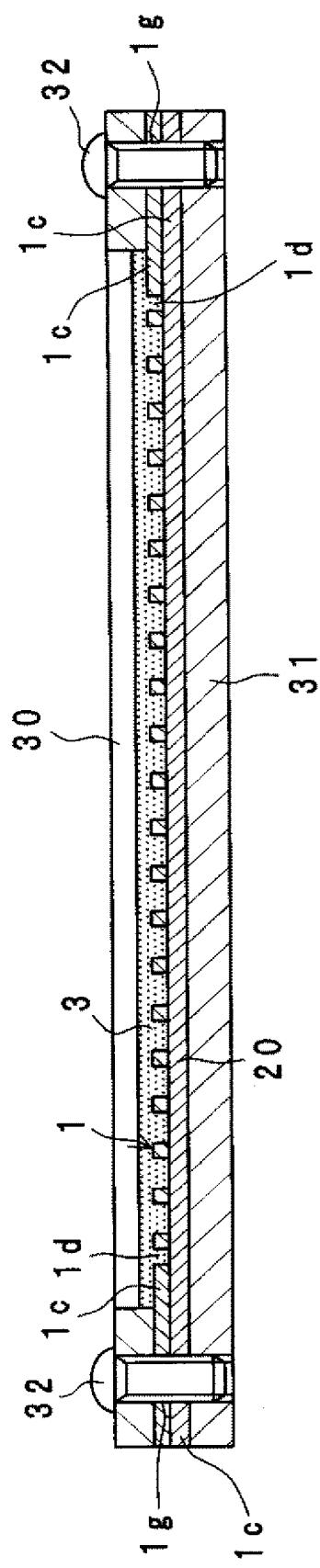
[図12I]



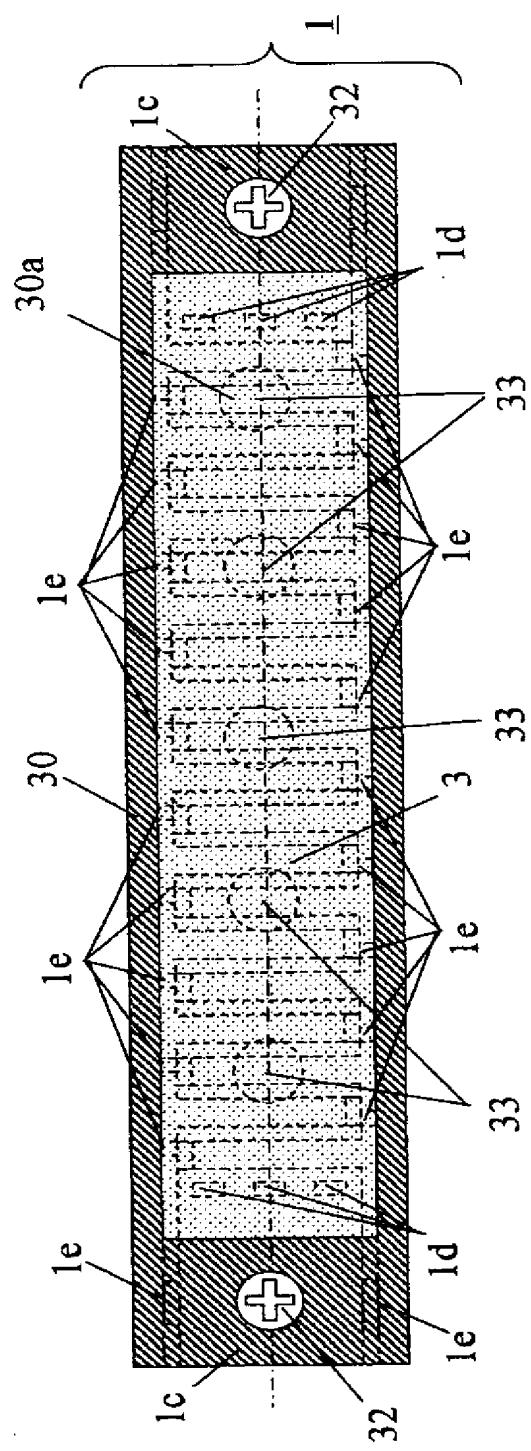
[図13A]



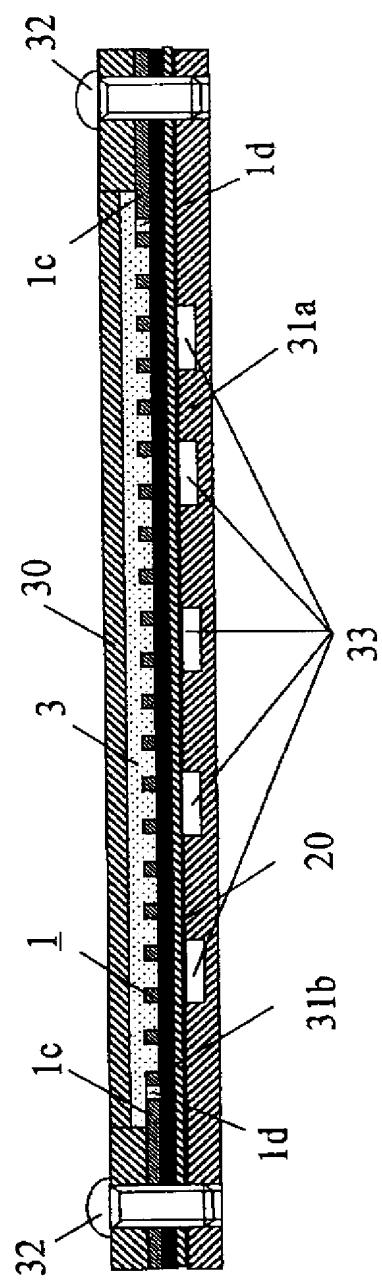
[図13B]



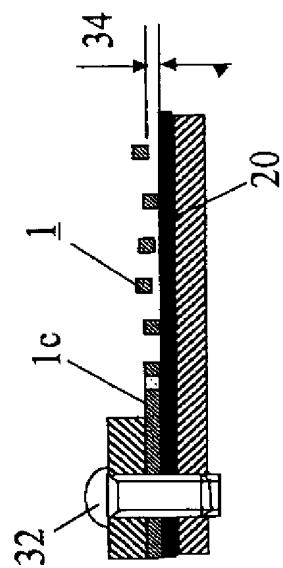
[図13C]



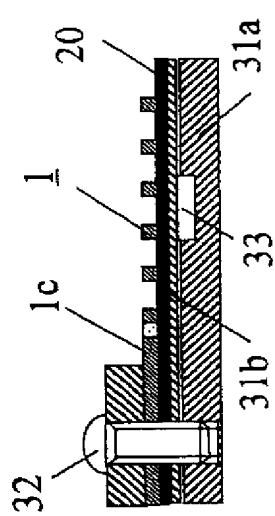
[図13D]



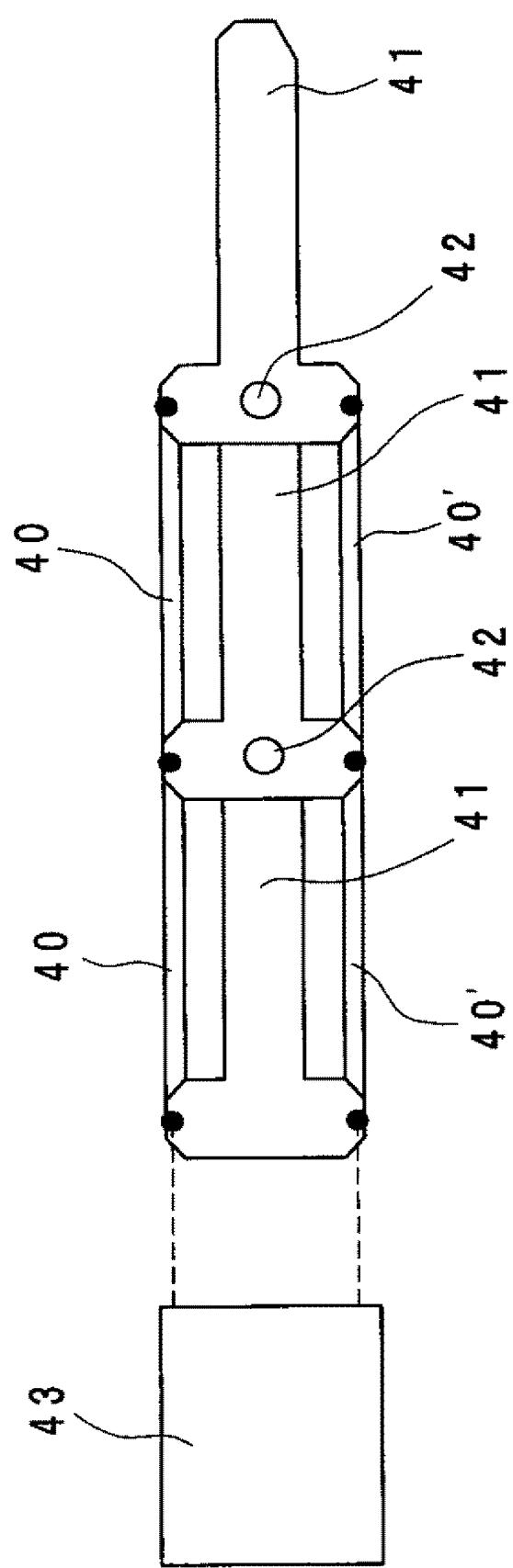
[図13E]



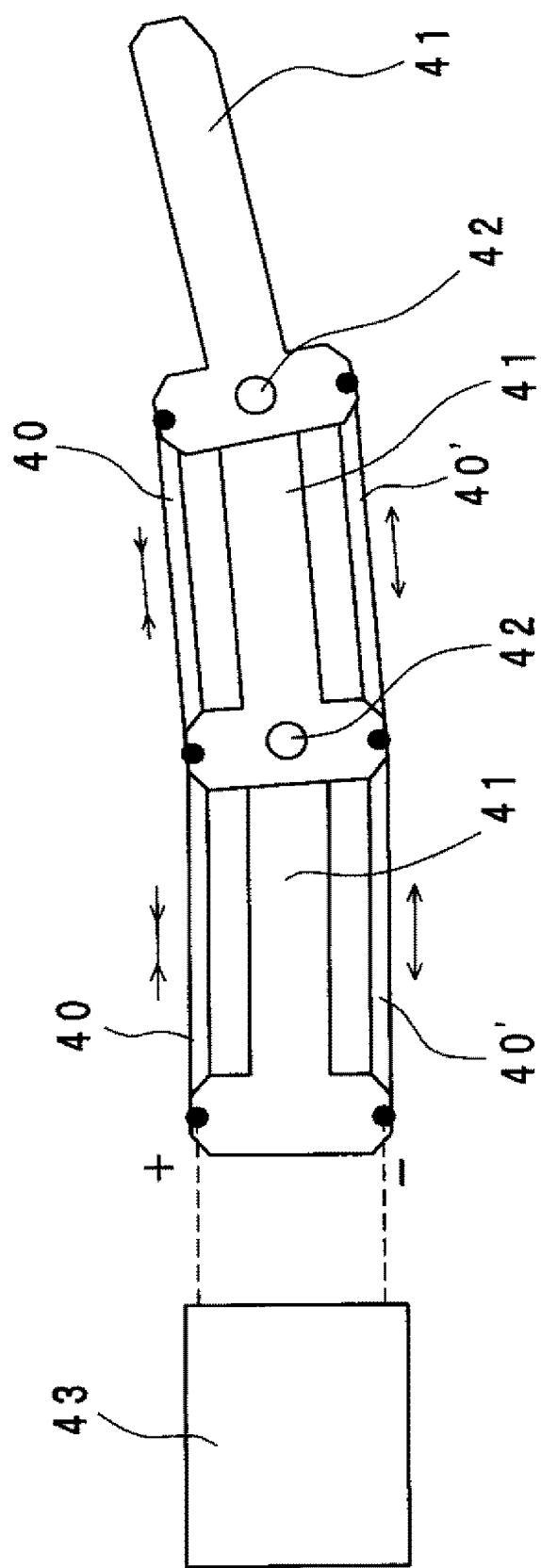
[図13F]



[図14A]



[図14B]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/001591

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
**Int.Cl<sup>7</sup> H02N11/00**

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

**Int.Cl<sup>7</sup> H02N11/00**

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

<b>Jitsuyo Shinan Koho</b>	<b>1922-1996</b>	<b>Toroku Jitsuyo Shinan Koho</b>	<b>1994-2004</b>
<b>Kokai Jitsuyo Shinan Koho</b>	<b>1971-2004</b>	<b>Jitsuyo Shinan Toroku Koho</b>	<b>1996-2004</b>

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 11-280639 A (Director General, Agency of Industrial Science and Technology), 15 October, 1999 (15.10.99), & EP 943402 A	1-15
A	JP 11-169394 A (Keichi KANEFUJI), 29 June, 1999 (29.06.99), & EP 924033 A	1-15
A	JP 11-93827 A (Toshiba Corp.), 06 April, 1999 (06.04.99), (Family: none)	1-15
A	JP 7-83159 A (Olympus Optical Co., Ltd.), 28 March, 1995 (28.03.95), (Family: none)	1-15

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>"&amp;" document member of the same patent family</p>
---	---

Date of the actual completion of the international search  
**01 April, 2005 (01.04.05)**

Date of mailing of the international search report  
**19 April, 2005 (19.04.05)**

Name and mailing address of the ISA/  
**Japanese Patent Office**

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2005/001591

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 97/26039 A (UNIVERSITY OF NEW MEXICO), 24 July, 1997 (24.07.97), & JP 2000-504951 A	1-15

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. C17 H02N11/00

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. C17 H02N11/00

## 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2004年
日本国登録実用新案公報	1994-2004年
日本国実用新案登録公報	1996-2004年

## 国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 11-280639 A (工業技術院長) 1999.10.15 & EP 943402 A	1-15
A	JP 11-169394 A (金藤敬一) 1999.06.29 & EP 924033 A	1-15
A	JP 11-93827 A (株式会社東芝) 1999.04.06 (ファミリーなし)	1-15
A	JP 7-83159 A (オリンパス光学工業株式会社) 1995.03.28 (ファミリーなし)	1-15
A	WO 97/26039 A (UNIVERSITY OF NEW MEXICO) 1997.07.24 & JP 2000-504951 A	1-15

 C欄の続きにも文献が列挙されている。 パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示す  
もの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日  
以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行  
日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する  
文献 (理由を付す)

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

## の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって  
出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論  
の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明  
の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以  
上の文献との、当業者にとって自明である組合せに  
よって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

## 国際調査を完了した日

01.04.2005

## 国際調査報告の発送日

19.04.2005

## 国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

## 特許庁審査官 (権限のある職員)

千馬 隆之

3V 8009

電話番号 03-3581-1101 内線 3356